Aus dem
zahnärztlichen Institut der Universität München
Vorstand: Prof. Dr. Kranz Referent: Prof. Dr. Falck

Über Expansion und Kontraktion von Goldlegierungen und ihren Ausgleich beim Guß durch entsprechende Maßnahmen.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der zahnärztlichen Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von

Erwin Appel
Zahnarzt.

München
Buchdruckerei Simon Wegele, München, Sendlinger Straße 57
1938.

Aus dem
zahnärztlichen Institut der Universität München
Vorstand: Prof. Dr. Kranz Referent: Prof. Dr. Falck

Über Expansion und Kontraktion von Goldlegierungen und ihren Ausgleich beim Guß durch entsprechende Maßnahmen.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der zahnärztlichen Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von

Erwin Appel
Zahnarzt.

München
Buchdruckerei Simon Wegele, München, Sendlinger Straße 57
1938.

Meinen lieben Eltern gewidmet!

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Über Expansion und Kontraktion von Goldlegierungen und ihren Ausgleich beim Guß durch entsprechende Maßnahmen.

Als Ollendorf im Jahre 1904 die Gußtechnik in die Zahnheilkunde einführte, benützte er eine Gießmethode, die von der allgemeinen Gießerei übernommen war. Das Material wurde im Tiegel geschmolzen und durch weite Gußkanäle in die Form gegossen. Mit diesen Gießversuchen war der Anfang zu einer Entwicklung in der Herstellung von „Prothetischen Metallarbeiten" gemacht, die außerordentliche Bedeutung erlangt hat.

Es blieb nun nicht bei dieser primitiven Gußmethode. Taggart hat 1907 diese Entwicklung durch die Schaffung eines modernen Gußapparates wesentlich gefördert. Das Gußgut wurde auf der Einbettmasse geschmolzen und durch Preßluft in die Form befördert. Angeregt durch diese Erfindung sind in den darauffolgenden Jahren eine große Anzahl von Gußapparaten entwickelt worden, die neben dem Preßdruck die Zentrifugalkraft und die Saugkraft zur Beförderung des Gußgutes in die Form benützten (Leuser. Jahrbuch für zahntechnische Laboratorien 1932).

Es war also in erster Linie der Anreiz zur Schaffung neuer Apparaturen, der diese Entwicklung auf dem Gießgebiet bestimmte. Erst später setzten Bestrebungen ein, die den Verkürzungen der Gußstücke, die durch Kontraktion der Materialien zwangsläufig entstehen, entgegenarbeiten (Price 1911, s. Flaumenhaft). Es laufen also zwei Entwicklungslinien nebeneinander her.

1. Die technische Vervollkommnung der Gußapparate und
2. die Bestrebungen zur Erlangung kontraktionsloser Güsse.

Bei der Konstruktion der Gußapparate war zunächst keine Rücksicht auf die innere Beschaffenheit des Gußstückes, in bezug auf Homogenität, Lunkerbildung, Porenfreiheit und einwandfreies Gefüge genommen worden. Erst in der letzten Zeit ist auch auf diesem Gebiete ein gewisser Fortschritt zu verzeichnen. Bei den neueren Gußapparaten (Oettingerschleuder, Degussa-Tiegelschleuder) sind durch bestimmte Maßnahmen Vorkehrungen getroffen, um den Guß in der vorhergenannten Hinsicht zu beeinflussen (Sikinger, Dissert. Tübingen 1933, Doktorarbeit Scheffler).

Die Gegenmaßnahmen zur Erlangung kontraktionsloser Güsse sind so vielseitiger Natur, daß man sie eigentlich nur in Gruppen zusammengefaßt erörtern kann. Die Möglichkeit, das Wachs-

modell in einem gewissen prozentualen Betrag, der der Schwindung des Materials entspricht, größer zu arbeiten, wie es in der allgemeinen Gußtechnik üblich ist, ist leider in der Zahnheilkunde unmöglich. Es wurden daher Wege eingeschlagen, das Wachsmodell oder den Formhohlraum nachträglich zu vergrößern. Es entstanden also Gußverfahren, die

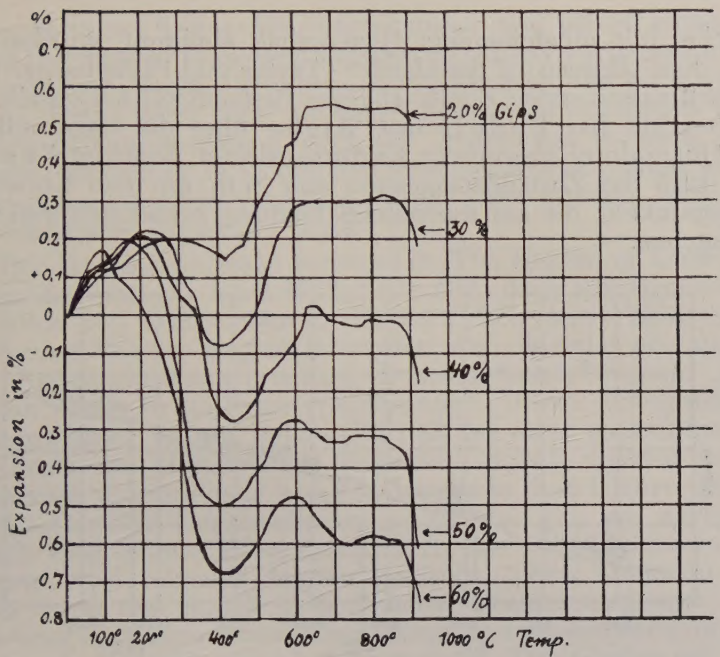
1. durch Wachsexpansion,
2. durch Wachs- und Einbettmassenexpansion,
3. durch reine Einbettmassenexpansion

die nötige Vergrößerung des Formhohlraumes erreichen wollten.

Zu 1. Es sind eine ganze Anzahl von Arbeiten bekannt geworden, die sich mit der Expansion des Wachses beschäftigen unter gleichzeitiger Benützung zum Ausgleich der Gußkontraktion (Price, Solbrig, van Horn, Maves, Rosenzweig, Falck, Besier, Volland, Paffenbarger u. a.).

Namentlich durch die Arbeit von Besier ist das verschiedenartige Verhalten einzelner Wachssorten je nach Herkunft und Vorbehandlung aufgeklärt worden. Die Expansion ist beispielsweise bei gegossenem Wachs größer als bei geknetetem Wachs. Volland und Paffenbarger haben nachgewiesen, daß bei einer bestimmten Wachssorte die Ausdehnung mit steigender Temperatur in steigendem Maße zunimmt. Die Folge ist also, daß je nach der Arbeitsweise eine verschieden hoch expandierte Form erreicht wird. Daher ist es nicht verwunderlich, daß man die Wachsexpansion zum Ausgleich der Gußkontraktion kaum noch anwendet. Selbst eifrige Verfechter dieser Methode, wie Maves und Rosenzweig, haben sich später zu Gunsten der Einbettmassenexpansion entschieden.

Zu 2. Man hatte schon früh erkannt, daß die Einbettmasse gewisse Expansionserscheinungen aufweist, die aber zahlenmäßig erst in späterer Zeit erfaßt wurden. Eine der besten deutschen Arbeiten auf diesem Gebiet ist die Dissertation von Trurnit, die 1921 in Frankfurt eingereicht worden ist. Damals hatte Trurnit bereits Wege angegeben, die durch Warmeinbettung des Wachses und durch Benützung einer Einbettmasse mit thermischer Expansion auf die Erlangung eines kontraktionslosen Gusses hinzielen. Seine Messung an verschiedenen Einbettmassen zeigen die größte Ausdehnung meist zwischen 500° — 600° C. Später wurde auch durch systematische Untersuchungen bewiesen, daß die Expansion der Einbettmasse durch den Quarzgehalt bedingt und beeinflußt wird (Gerlach, Cosmann, Schubert, Falck u. a.).

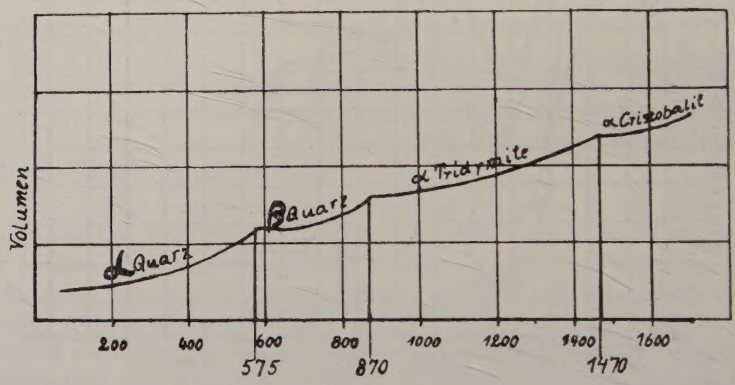


Thermische Expansion von Alabastergips u. Quarz in Versuchsgemischen mit W/P = 50 nach M. Cosmann

Zur Erzielung kontraktionsloser Güsse wurde sowohl die Expansion des Wachses als auch die Expansion der Einbettmasse ausgenützt (Voland und Paffenbarger, Thielemann u. a.). In bezug auf die Wachsexpansion haften diesem kombinierten Verfahren die gleichen Mängel an, wie sie vorher zu 1. erwähnt wurden.

Zu 3. Wie schon oben angeführt, wird die Expansion einer aus Gips und Quarz bestehenden Einbettmasse durch den Quarzgehalt bedingt. Gips dehnt sich zwar beim Abbinden aus, schrumpft aber beim Erwärmen. Quarz verhält sich beim Abbinden indifferent, dehnt sich dagegen beim Erwärmen, namentlich bei 500° — 600° C erheblich aus (Spanner). Bedingt ist diese Ausdehnung durch die Umwandlung des α Quarzes (575° C) in β Quarz. Die starke Schrumpfung des Gipses wird also durch die Ausdehnung des Quarzes teilweise aufgehoben. Da aber die Gesamtausdehnung der Gips-Quarzgemische noch nicht völlig genügte und da außerdem auch die Festigkeit des Ge-

misches mit zunehmendem Quarzgehalt abnimmt, wurden erst von dem „Bureau of Standards“ (Taylor und Paffenbarger u. a.) Einbettmassen unter Zusatz anderer Bestandteile hergestellt. Im Jahre 1912 hat Endell und Rieke über die Umwandlung, die Quarz durch thermische Einflüsse erleidet, berichtet. Fenner hat 1913 das Zustandsdiagramm von $Si\,0_2$ mit den Umwandlungspunkten, die auf thermische Einflüsse zurückzuführen sind, angegeben.



Umwandlungspunkte von Quarz nach Fenner (Flaumenhaft) D. Z. W. Nr. 13, 1934.

Diese Umwandlungen sind jeweis mit einer starken Volumenzunahme verbunden. Durch lang andauerndes Erhitzen kann also der Quarz bei den jeweiligen Temperaturen in einen anderen Zustand übergeführt werden.

In Amerika gibt es Naturvorkommen von Cristobalit, der veränderten Form des Quarzes. Taylor, Paffenbarger und Sweeney stellten nun Einbettmassen unter Zusatz von Cristobalit her und erzielten dadurch Expansionswerte bis zu 1,5 % Längenausdehnung. Das Charakteristikum dieser Massen besteht darin, daß bei Temperaturen zwischen 600° und 900° C eine fast gleichgroße Expansion erreicht wird, die selbst beim Abkühlen erhalten bleibt.

Auch in Deutschland war man auf diesem Gebiet nicht müßig. Endell hat zusammen mit der Firma Erich Wilhelm eine cristobalithaltige Masse herausgebracht, die aber noch nicht ganz das günstige Verhalten der amerikanischen Masse erreicht. Die Gesamtexpansion dieser erwähnten Massen setzt sich aus

einem geringen Betrag Abbindeexpansion und einem größeren Betrag thermischer Expansion zusammen. Die I. G. Farbenindustrie hat eine neue Masse, Duroterm, herausgegeben, die im Gegensatz zu dieser Masse eine geringere thermische Expansion und größere Abbindeexpansion aufweist. Neuerdings ist auch von Gerlach, zusammen mit Böhme-Hohenbocka, eine Einbettmasse, Expansit, herausgegeben worden, die gar keine Abbinde- sondern nur thermische Expansion besitzt.

Der Amerikaner Scheu berichtet in „The Journal of American Dental Association", April 1932, Seite 630, über das eigenartige Verhalten von Einbettmassen, die kurz nach dem Abbinden in lauwarmes Wasser eingesetzt werden, und die dabei eine starke Volumenvergrößerung erfahren. Er nennt diesen Vorgang: „Expansion durch Kristallwasserregulierung". Durch Nachprüfung in Deutschland wurde festgestellt, daß bei einer ganzen Anzahl von deutschen Massen diese Expansion erzielt werden kann. Unbewußt wurde dieser Vorgang bereits in dem Gießverfahren für die Degussa-Tiegelschleuder ausgenutzt. Um das auf dem Modell eingebettete Wachsstück, z. B. eine Platte, abheben zu können, wird folgende Angabe gemacht: „Nach Abbinden der Masse wird das Modell in lauwarmes Wasser eingesetzt und nach etwa 10 Minuten Einwirkungsdauer die aufgetragene Einbettmasse mit dem Wachsmodell abgehoben" (Das Gießen mit der Degussa-Tiegelschleuder).

Bisher wurden nur die Arbeiten erwähnt, die sich mit den Materialien Wachs und Einbettmasse und deren Verhalten beschäftigen. Eine umfassendere Arbeit über das Verhalten des 3., zur Goldgußtechnik nötigen Materials, des Goldes selbst, in bezug auf Expansion und Kontraktion, ist, abgesehen von den Versuchen Trurnits, nur von Schäffner gemacht worden. Schäffner hat nach seiner eigenen Methode die verbleibende Restkontraktion verschiedener Goldlegierungen nach dem Guß gemessen. Da er schon damals das unzuverläßige Verhalten des Wachses erkannt hatte, wurden als Formkörper Contracidklötzchen eingebettet, die beiderseits mit Plättchen aus nichtoxydierendem Gold beschickt waren. Diese runden Plättchen hatten eine konische Form, wobei die größere Fläche nach außen zu liegen kam. Das Prinzip der Messung ist folgendes:

> Die Länge der Formkörper wird mitsamt den aufgekitteten Plättchen gemessen. Der Körper wird nun ohne Ring eingebettet. Durch die Einwirkung der warmangerührten Einbettmasse lösen sich die mit Wachs

aufgekitteten Plättchen vom Körper, und machen die Expansionsbewegung der Einbettmasse mit. Nach dem Entfernen des Stahlkörpers und dem endgültigen Einbetten in die Cüvette wird nach dem Erwärmen der Form der Hohlraum mit Gold gefüllt. Das flüssige Gold verbindet sich innig mit den hochschmelzenden nichtoxydierenden Plättchen. Bei dem einsetzenden Kontraktionsvorgang des Goldes müssen also die Plättchen diese Bewegung mitmachen. Nach dem Erkalten auf Handwärme wird nun gemessen, wie lang der Guß ist. Die jeweilige Verkürzung in Prozent wurde von Schäffner als Restkontraktion bezeichnet.

Schäffner hat durch diese Messungen festgestellt, daß die Restkontraktion je nach dem verwendeten Gold verschieden groß ist. Er hat vor allem auch die Abhängigkeit von dem Platinzusatz untersucht und dabei mit zunehmendem Platingehalt der Goldlegierungen eine abnehmende Restkontraktion ermittelt. Schäffner stellte am Schluß seiner 1931 erschienenen Arbeit die Forderungen, die Restkontraktion durch Goldlegierungen mit möglichst kleiner Kontraktion und durch Einbettmassen mit einer größeren Expansion auszugleichen.

Da nun die Werte für die Restkontraktion der einzelnen Legierungen, die Schäffner ermittelt hat, durch ein Verfahren bestimmt wurden, das auf der Gußtechnik aufgebaut war, entstand der Wunsch, diese Ergebnisse durch exakte dilatometrische Messungen zu prüfen. Da in der Zwischenzeit die von Schäffner geforderten Einbettmassen geschaffen worden sind, war es interessant, seine Methode an diesen Massen auszuprobieren, um festzustellen, ob tatsächlich kontraktionslose Güsse erzielt werden können. Aus diesen Wünschen resultiert nun die Aufgabenstellung für die vorliegende Arbeit.

Aufgabenstellung:

1. Messung der Expansion und Kontraktion von Gold und Goldlegierungen.

   A) In Abhängigkeit vom Goldgehalt
   B) „ „ „ Silber- und Kupfergehalt
   C) „ „ „ Platingehalt.

2. Nachprüfung dieser Ergebnisse durch praktische Gießversuche nach der Methode Schäffner.

A) In Abhängigkeit von verschiedenen Einbettmassen
B) „ „ „ der Vorwärmetemperatur
C) „ „ „ der Expansionsmöglichkeit (Asbesteinlage)
D) „ „ „ der Gußlegierung
E) „ „ „ der Kristallwasserregulierung.

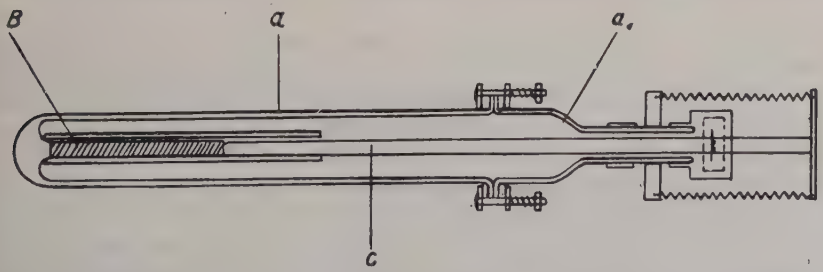
Messung der Expansion und Kontraktion.

Um die Messung der Expansion und Kontraktion von Gold und Goldlegierungen genau durchführen zu können, wurde ein Apparat benützt, wie er für dilatometrische Messungen bekannt und von Thilenius und Holzmann beschrieben worden ist.

Das Prinzip der Messung ist folgendes:
In einem einseitig geschlossenen Quarzglasrohr wird der Probestab erhitzt. Seine Längenveränderungen werden durch einen Quarzglasstab übertragen. Die Längenveränderung des Probestabes wird an zwei Marken, die sich aneinander vorbeischieben, mikroskopisch abgelesen.

Beschreibung der Apparatur.

Wie aus der Abbildung hervorgeht, besteht der Apparat aus dem Trägerrohr A, auf das ein abnehmbarer Ansatzstutzen A_1, der die Einführung des Probestabes erleichtert, gesetzt ist. Auf



dem einseitig geschlossenen Rohrende ruht auf einem Zapfen der Probestab B, dessen anderes Ende mit dem Übertragungs-

Zu der Ausdehnung des Metallstabes muß die geringe Ausdehnung des Quarzglases für die Stablänge addiert werden. Bei Tabelle 1 bis 4 und in den Kurven werden die unkorrigierten Messuugen angegeben. In Tabelle 5 ist die Korrektur durchgeführt.

stab C, der ebenfalls aus Quarzglas besteht, in Berührung ist. Am Ende des Ansatzstutzens A_1 ist ein Scheibenträger aus Messing fest aufgekittet, der mit einer in ein Glasplättchen geritzten Marke beschickt wird. Der Übertragungsstab C trägt ebenfalls eine solche Glasmarke, die sich nun bei den Längenveränderungen des Probestabes aneinander vorbeischieben. Damit der Übertragungsstab C immer in innigem Kontakt mit dem Probestab B bleibt, ist ein Federzug angebracht, der mit 50 bis 60 gr Gegendruck wirkt.

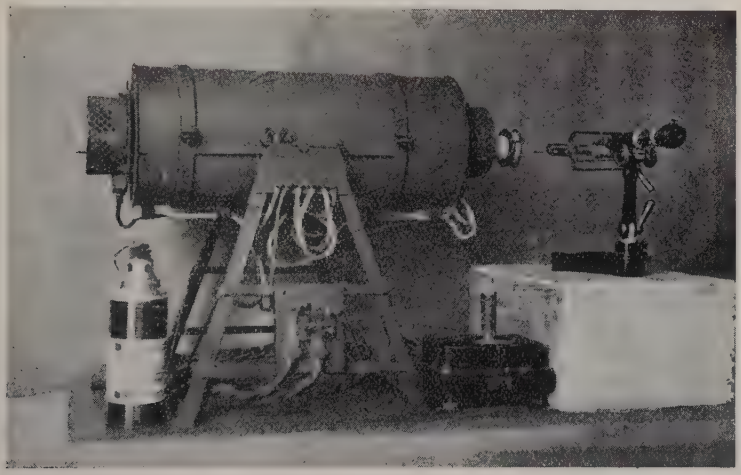
Ausführung der Messung.

Zur Messung wurden runde Stäbe mit einem Durchmesser von 5,5 mm benützt. Beide Flächen der Stäbe wurden auf der Drehbank planparallel gedreht. Dabei wurde gleichzeitig die Länge so abgestimmt, daß sie möglichst genau 100 mm betrug. Zur Längenmessung ist eine Meßuhr benützt worden, wie sie im Apparatebau bekannt ist. Die Einstellung der Meßuhr geschah mit einem Endmaß von genau 100 mm und wurde immer wieder mit diesem kontrolliert.

Zur Expansionsmessung wurden diese Probestäbe in die Quarzapparatur eingefügt. Zur Führung und Unterstützung des Stabes diente ein Quarzröhrchen, das einen Innendurchmesser von 6,5 mm hatte, sodaß sich der Probestab ungehindert ausdehnen konnte. Das eine Ende wird dabei auf einen Zapfen, der im Boden des Quarzrohrs aufgeschmolzen ist, aufgesetzt. Das Unterstützungsröhrchen bekommt gleichzeitig durch diesen Zapfen Führung. Das andere Ende des Probestabes steht in Berührung mit dem Übertragungsstab aus Quarz, der ebenfalls durch das Quarzunterstützungsröhrchen Führung behält. Nachdem also der Probestab eingesetzt war, wurde die gesamte Apparatur in einen elektrischen Röhrenofen so eingebaut, daß der Bereich, in dem der Probestab liegt, in der Mitte des Ofens steht. Durch Messung war vorher festgestellt worden, daß der Mittelbereich des Ofens eine Länge von 15 — 17 cm Temperaturkonstanz aufweist. Von der anderen Seite her wurde ein Thermoelement, Platinrhodium, eingebaut, das mit seiner Schweißstelle durch das äußere Quarzrohr hindurch bis unmittelbar in die Mitte an den Probestab heranreichte. Es ist also anzunehmen, daß bei dieser Versuchsanordnung genügend genau die Temperaturen gemessen werden können, die der Probestab tatsächlich hat. Angeschlossen war das Thermoelement, das bei Zimmertemperatur an der kalten Lötstelle geeicht wurde, an ein Millivoltmeter, wobei die Übergangsstelle zwischen Thermoelement

und der Kupferleitung in einer Thermosflasche mit Wasser von 17° C gekühlt wurde.

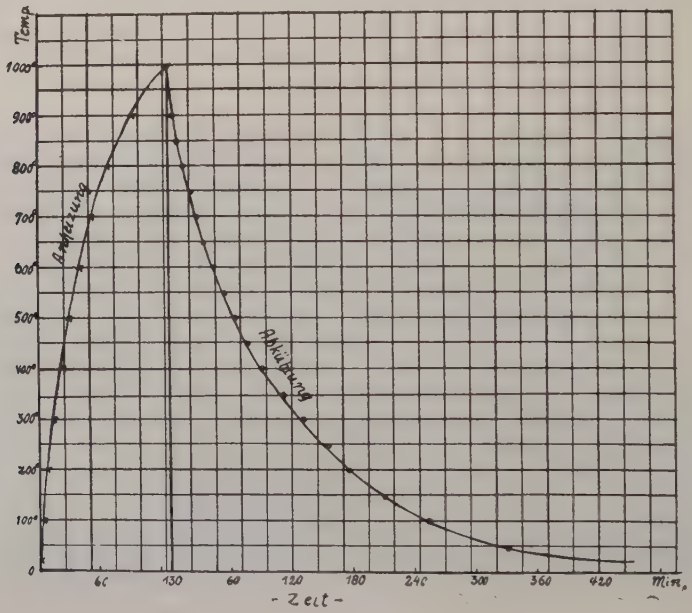
An der eigentlichen Meßstelle war zur Beobachtung der beiden Meßmarken ein Mikroskop mit eingebautem Stufenmikrometer aufgestellt. Die Vergrößerung war so gewählt, daß die Verschiebung um einen Teilstrich im Stufenmikrometer eine Verlängerung von 0,0238 mm betrug. Da auch noch Zwischenwerte geschätzt werden konnten, ist immerhin eine Meßgenauigkeit von $\pm$ 0,01 % erzielt worden. Die Anordnung der Gesamtapparatur ist aus der beigegebenen Abbildung ersichtlich.



Die Erhitzung geschieht in dem elektrischen Röhrenofen durch Silitstabheizelemente. Die vier Heizelemente waren in Reihe geschaltet, sodaß eine langsame gleichmäßige Erwärmung eintritt. Die Anheiz- und Abkühlungsgeschwindigkeit des Ofens geht aus der nachstehenden Kurve hervor.

Vor dem Ablesen wurde die Heizung ausgeschaltet. Die Temperatur stieg dann langsam weiter bis zur Ablesetemperatur. Bei niederen Temperaturen wurde bei 30 — 40° C über der Ablesetemperatur ausgeschaltet, bei höheren Temperaturen 10—20° C unter der Ablesetemperatur. Entsprechend wurde bei der Abkühlung durch vorübergehendes Einschalten der Heizung für bestmögliche Temperaturkonstanz bei der Ablesung gesorgt. Als bei den Messungen festgestellt wurde, daß Verkürzungen der Probestäbe auftreten, wurde von den kritischen

Temperaturen ab der Ofen jeweils vor Erreichung der betreffenden Ablesetemperatur ausgeschaltet und 50° C zurückgehen lassen, um festzustellen. ob zwischen der ermittelten Längenveränderung heim Anheizen und Abkühlen Differenzen auftreten. Dadurch wird deutlich gezeigt, von welcher Temperatur ab Abweichungen in der Meßkurve eintreten.



Meßergebnisse.

Abgelesen wurde die jeweilige Längenveränderung sowohl beim Anheizen als auch beim Abkühlen von 50 zu 50° C. Die Ablesewerte in Teilstrichen werden in Millimeter umgerechnet. Bei einer Probestablänge von 100 mm ergibt sich so gleichzeitig der Wert für die Verkürzung in Prozent.

Für die Messungen wurde sowohl Feingold als auch gebräuchliche Dentalgoldlegierungen mit verschiedenem kt.-Gehalt, mit verschiedener Farbe und Platinzusätzen verwendet. In den nachfolgenden Tabellen sind die Meßergebnisse nach den Gesichtspunkten, wie sie bereits in der Aufgabenstellung erwähnt sind, zusammengestellt. Um auch die Unterschiede zwischen gezogenem und gegossenem Material festzustellen, sind sowohl bei Feingold

als auch bei den Goldlegierungen gegossene Stäbe mitgemessen worden. Diese Gußstäbe sind durch Eingießen der Schmelze in runde Eisenformen mit 5,5 mm Durchmesser hergestellt worden. Der Stab hat abgesehen von der Bearbeitung der Endflächen keinerlei Änderung erfahren. Die Einordnung der Messungen in die Tabellen geschieht also nach folgenden Gesichtspunkten:

Tab. 1 enthält die Längenveränderungen in Prozent von Feingold, einer gelben 22 kt., 20 kt. und 18 kt. Legierung. Sie soll also die Abhängigkeit der Expansion vom Goldgehalt der Legierungen zeigen und auch gleichzeitig vom Bearbeitungszustand.

Tab. 2 gibt die Messungen an 22 kt. und 20 kt. Legierungen mit verschiedener Farbe wieder. Es wird also hier die Abhängigkeit von den Zusätzen Silber und Kupfer in den einzelnen Kt. gezeigt.

Tab. 3 zeigt die Abhängigkeit vom Platingehalt einer 18 kt. Legierung, d. h. es wurde ein Teil des Goldes durch Platin ersetzt.

Tab. 4 zeigt die Messung an anderen Legierungen, die nicht nach den vorhergenannten Gesichtspunkten eingeordnet werden können. Es handelt sich um gebräuchliche Dentallegierungen. In der

Tab. 5 sind die Schmelzpunkte und Schmelzintervalle der gemessenen Materialien wiedergegeben und gleichzeitig auch die Längenveränderung aller Materialien in Prozent bei 550° C. Ferner enthält diese Tabelle die Ausdehnungskoeffizienten zwischen 20 und 550° C und die theoretische Gesamtkontraktion bei der Abkühlung vom Soliduspunkt bis auf Zimmertemperatur, durch Extrapolation der Ausdehnungskurven auf die Solidustemperatur ermittelt.

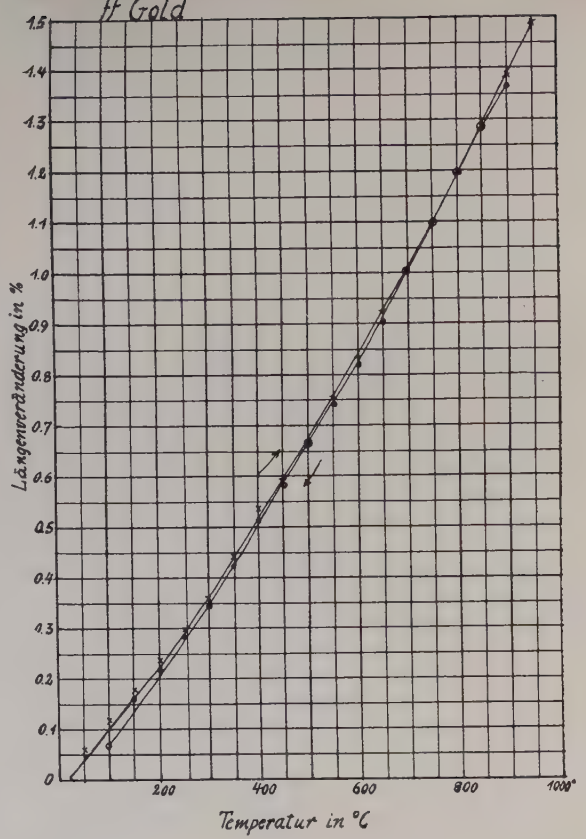
Zur besseren Übersicht sind die Meßergebnisse der einzelnen Materialien in Kurven niedergelegt, die nach den vorher erwähnten Gesichtspunkten jeweils hinter der entsprechenden Tabelle eingeordnet sind.

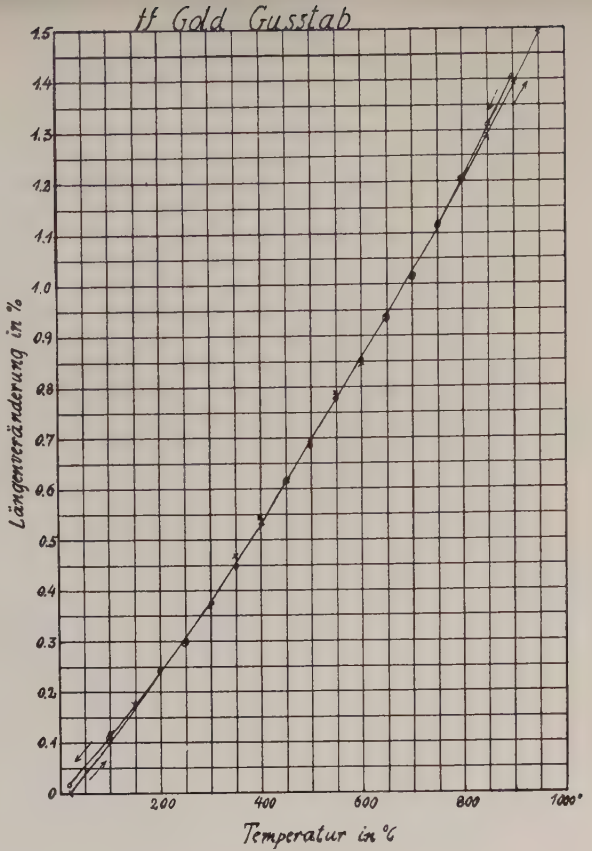
Tabelle 1.

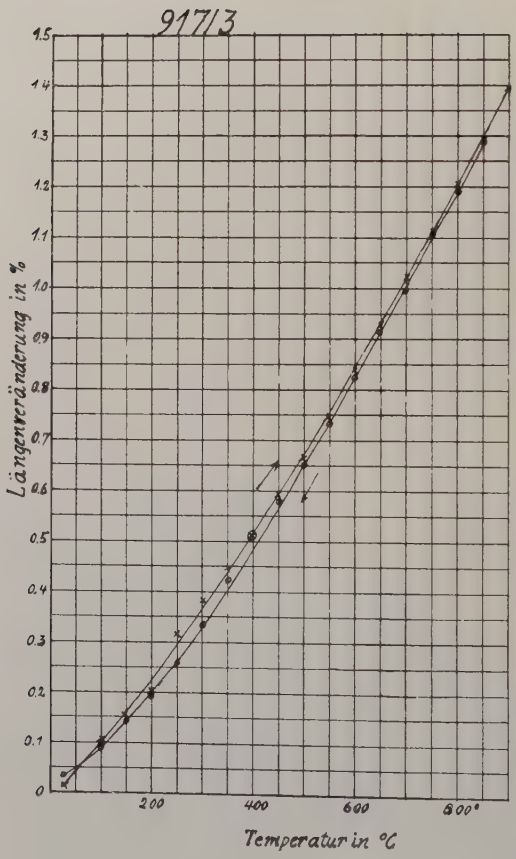
Die Expansion und Kontraktion von Gold- und Goldlegierungen in Abhängigkeit vom Goldgehalt und dem Bearbeitungszustand.

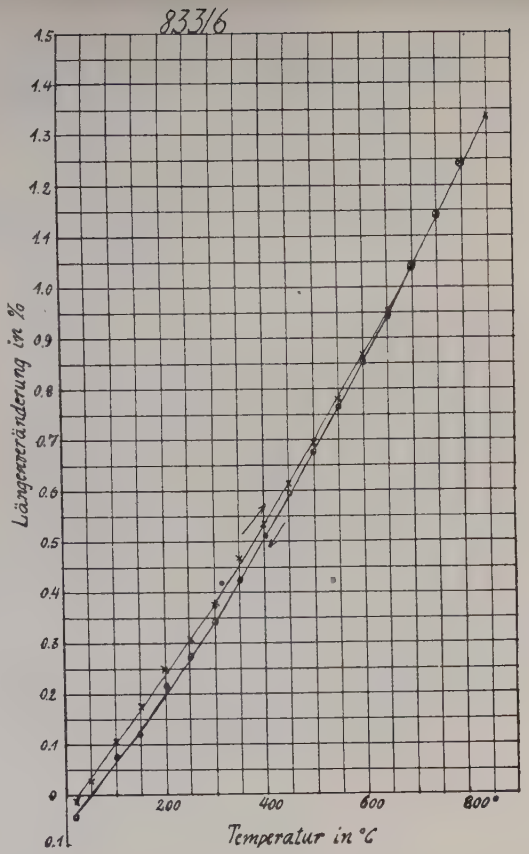
Längenausdehnung in Prozent — E. = Erhitzung A. = Abkühlung

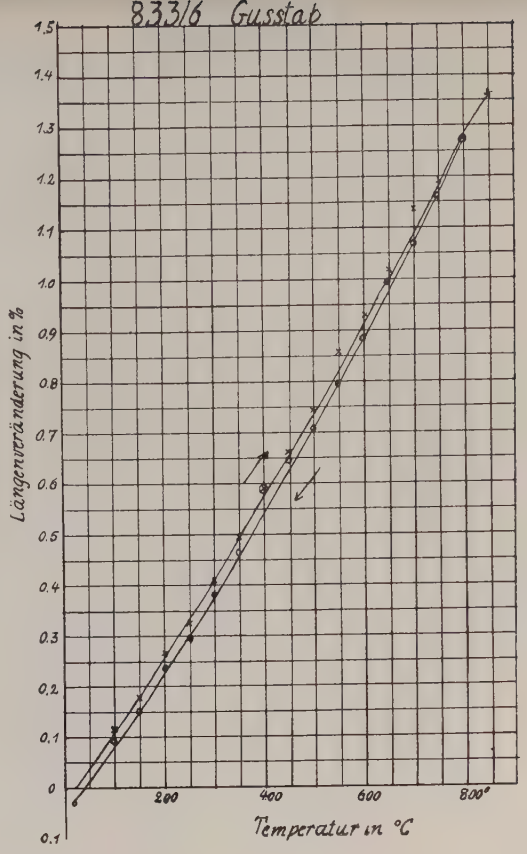
Ablese-temp. °C.	Feingold gezogen		Feingold gegossen		917/3		833/6 gezogen		833/6 gegossen		750/6 gezogen		750/6 gegossen	
Schmelzintervall:	106,3 ° C.		——		1025—985		975—920		——		880—850		——	
	E.	A.	E.	A.	E.	A.	E.	A.	E.	A.	E.	A.	E.	A.
20	0,000	—	0,000	0,019	0,011	0,035	-0,011	-0,042	0,000	-0,028	0,000	-0,166	0,000	-0,119
50	0,059	—	—	—	0,035	—	0,028	—	—	—	—	—	—	—
100	0,119	0,066	0,119	0,114	0,123	0,090	0,107	0,071	0,114	0,095	0,119	-0,035	0,119	0,028
150	0,178	0,161	0,178	0,171	0,166	0,147	0,178	0,119	0,178	0,154	0,199	0,042	0,197	0,071
200	0,238	0,218	0,238	0,242	0,226	0,195	0,247	0,214	0,266	0,238	0,249	0,095	0,247	0,161
250	0,297	0,285	0,297	0,295	0,285	0,261	0,309	0,273	0,321	0,299	0,304	0,192	0,297	0,249
300	0,357	0,345	0,369	0,376	0,337	0,337	0,376	0,345	0,409	0,380	0,416	0,337	0,392	0,392
350	0,440	0,428	0,464	0,442	0,416	0,423	0,464	0,428	0,492	0,466	0,476	0,340	0,499	0,499
400	0,535	0,514	0,542	0,533	0,511	0,511	0,532	0,511	0,590	0,590	0,557	0,535	0,604	0,595
450	0,595	0,583	0,614	0,614	0,595	0,583	0,614	0,595	0,666	0,642	0,637	0,618	0,704	0,702
500	0,664	0,664	0,690	0,685	0,690	0,654	0,690	0,678	0,742	0,706	0,733	0,714	0,802	0,785
550	0,756	0,747	0,785	0,771	0,756	0,737	0,780	0,767	0,856	0,797	0,833	0,809	0,899	0,885
600	0,833	0,821	0,844	0,852	0,849	0,828	0,868	0,856	0,928	0,882	0,914	0,904	0,999	0,959
650	0,923	0,904	0,932	0,932	0,950	0,916	0,952	0,947	1,018	0,973	0,994	0,994	1,078	1,051
700	1,006	1,004	1,018	1,018	1,023	0,999	1,042	1,040	1,113	1,071	1,099	1,099	1,182	1,166
750	1,099	1,094	1,111	1,113	1,113	1,099	1,142	1,142	1,190	1,166	1,190		1,270	
800	1,199	1,194	1,204	1,204	1,204	1,190	1,242	1,242	1,273	1,273				
850	1,285	1,285	1,285	1,309	1,299	1,289	1,337		1,363					
900	1,380	1.368	1,397	1,406	1,399									
950	1,487		1,494											

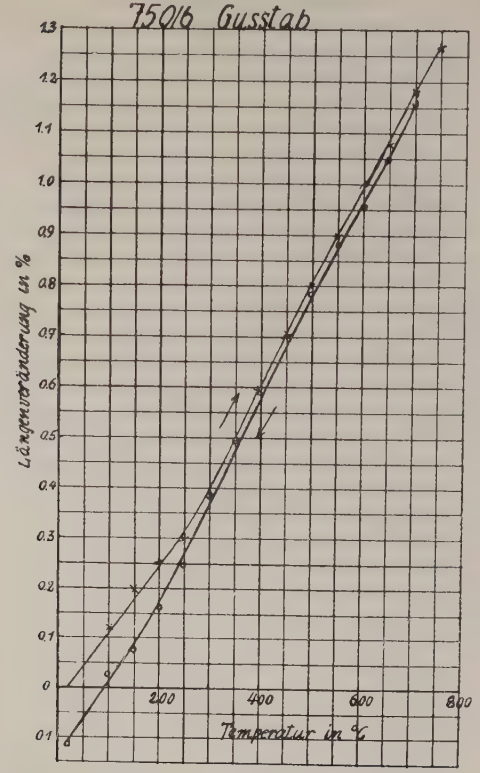

tf Gold
Längenveränderung in %
Temperatur in °C
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
200
400
600
800
1000°


tf Gold Gusstab
Längenveränderung in %
Temperatur in °C
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
200
400
600
800
1000°


91713
Längenveränderung in %
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
200
400
600
800°
Temperatur in °C


833/6
Längenveränderung in %
Temperatur in °C
0.1
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
200
400
600
800°


833/6 Gusstab
Längenveränderung in %
Temperatur in °C
0.1
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
200
400
600
800°


75016 Gusstab
Längenveränderung in %
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.1
200
400
600
800
Temperatur in °C

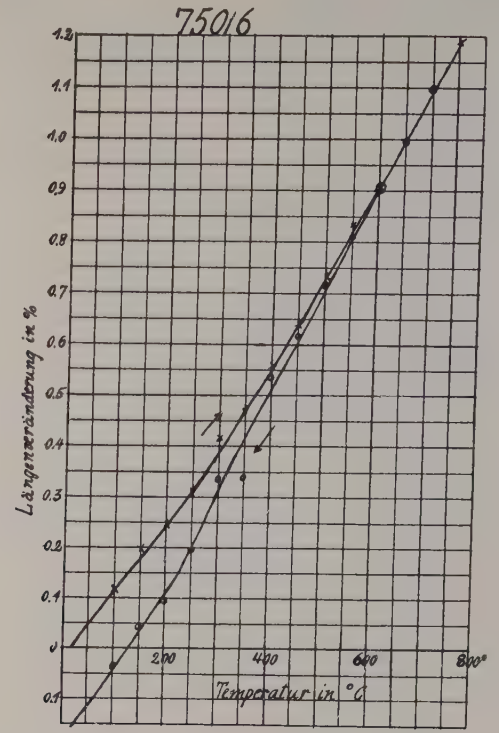
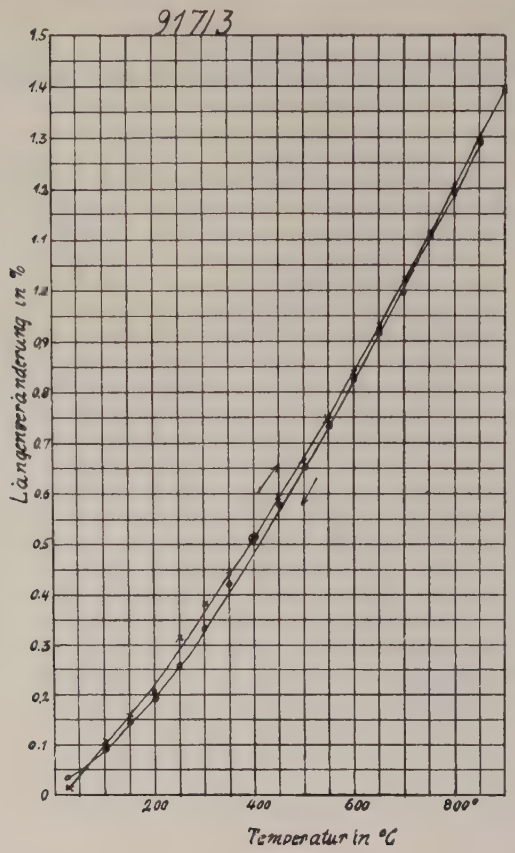

75016
Längenveränderung in %
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.1
200
400
600
800°
Temperatur in °C

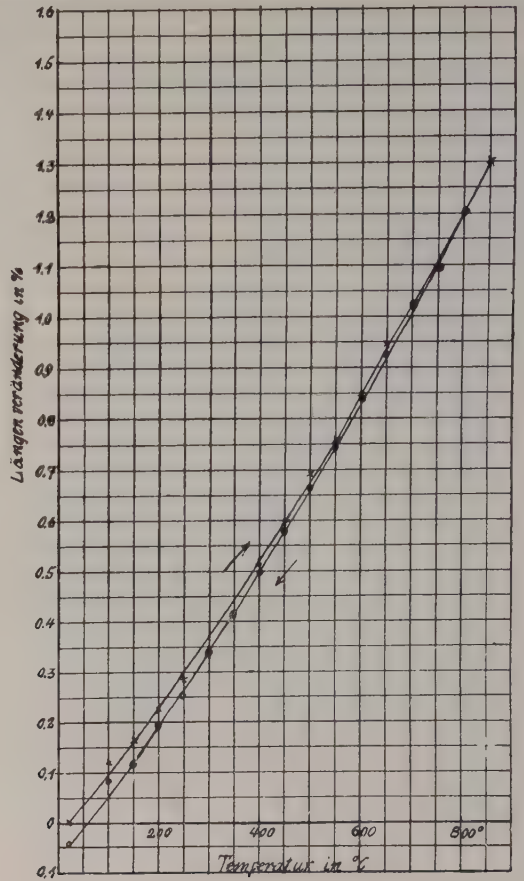
Tabelle 2.

Die Expansion und Kontraktion von Gold und Goldlegierungen in Abhängigkeit vom Kupfer- und Silbergehalt.

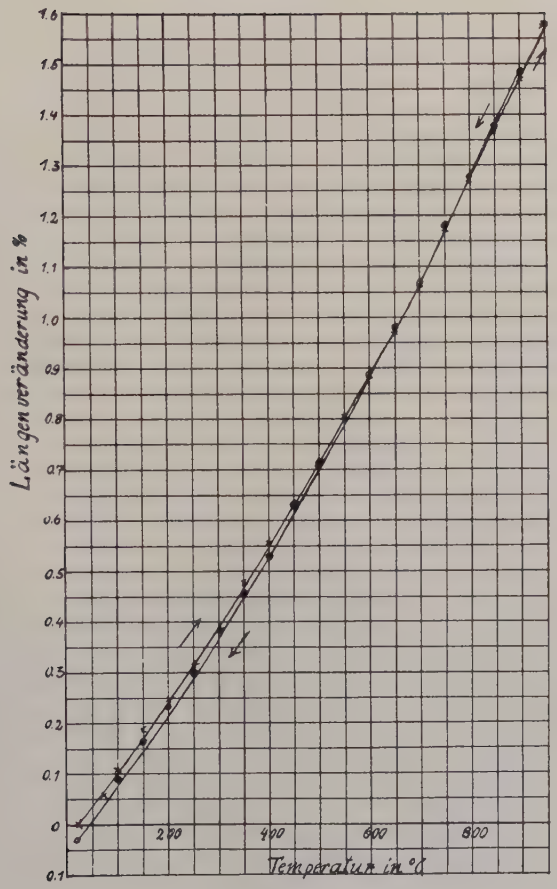
Ablesetemp. ° C.	bei 22 kt. 917/3		917/1		833/8		bei 20 kt. 833/6 gezogen		833/4	
Schmelzintervall:	1025—985		977—940		1042—1025		975—920		930—890	
	E.	A.	E.	A.	E.	A.	E.	A.	E.	A.
20 (25°)	0,011	0,035	0,000	-0,042	—	0,028	-0,011	-0.042	0,000	-0,076
50	0,035	—	—	—	0,059	—	0,028	—	—	—
100	0,107	0,090	0,123	0,083	0,107	0,090	0,107	0,071	0,121	0,052
150	0,154	0,147	0,166	0,119	0,178	0,166	0,178	0,119	0,185	0,123
200	0,202	0,195	0,226	0,195	0,247	0,233	0,247	0,214	0,238	0,190
250	0,314	0,261	0,285	0,254	0,316	0,304	0,309	0,273	0,314	0,261
300	0,380	0,337	0,337	0,337	0,380	0,385	0,376	0,345	0,392	0,345
350	0,447	0,423	0,416	0,414	0,476	0,461	0,464	0,428	0,471	0,428
400	0,511	0,511	0,511	0,499	0,552	0,532	0,532	0,511	0,533	0,511
450	0,595	0,583	0,595	9,583	0,630	0,630	0,614	0,595	0,614	0,595
500	0,666	0,654	0,690	0,666	0,714	0,714	0,690	0,678	0,702	0,694
550	0,749	0,737	0,756	0,749	0,804	0,804	0,780	0,766	0.790	0,780
600	0,840	0,828	0,849	0,840	0,885	0,892	0,868	0,856	0,885	0,875
650	1,932	0,916	0,940	0,928	0,975	0,982	0,952	0,947	0,982	0,966
700	1,023	0,999	1,023	1,023	1,066	1,071	1,042	1,040	1,059	1,059
750	1,113	1,099	1,094	1,094	1,178	1,185	1,142	1,142	1,159	1,159
800	1,204	1,190	1,206	1,206	1,273	1,280	1,242	1,242	1,256	
850	1,299	1,289	1,304		1,368	1,380	1,337			
900	1,399				1,470	1,487				
950					1,582					

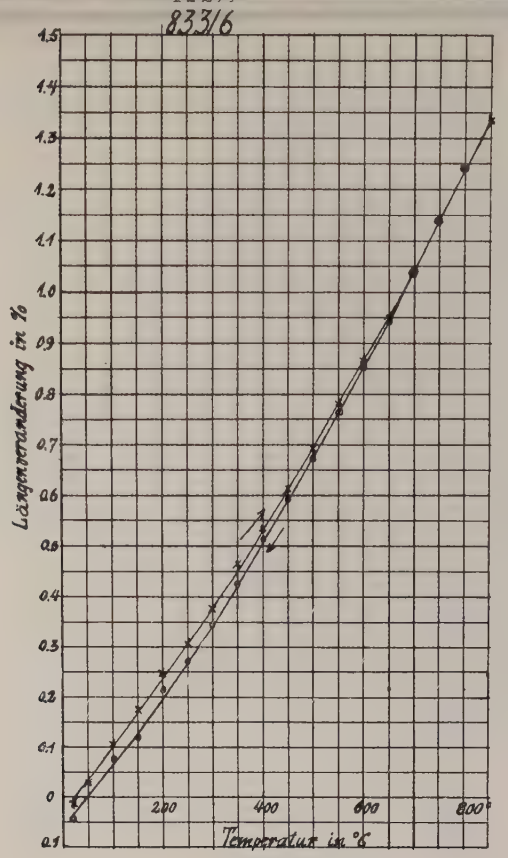
E. = Erhitzung. A. = Abkühlung.


9173
Längenveränderung in %
Temperatur in °C
200
400
600
800°


Längenveränderung in %
Temperatur in °C
200
400
600
800°

833/8


Längenveränderung in %
1.6
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.1
200
400
600
800
Temperatur in °C


833/6
Längenveränderung in %
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.1
200
400
600
800°
Temperatur in °C

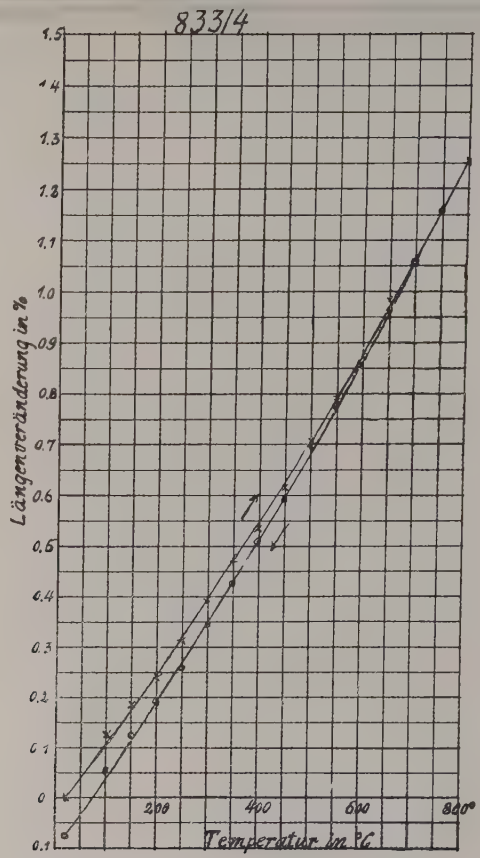
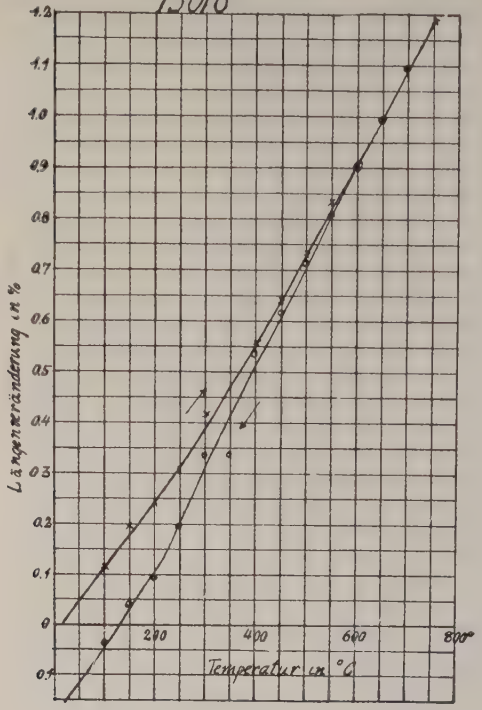

833/4
Längenveränderung in %
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.1
200
400
600
800°
Temperatur in °C

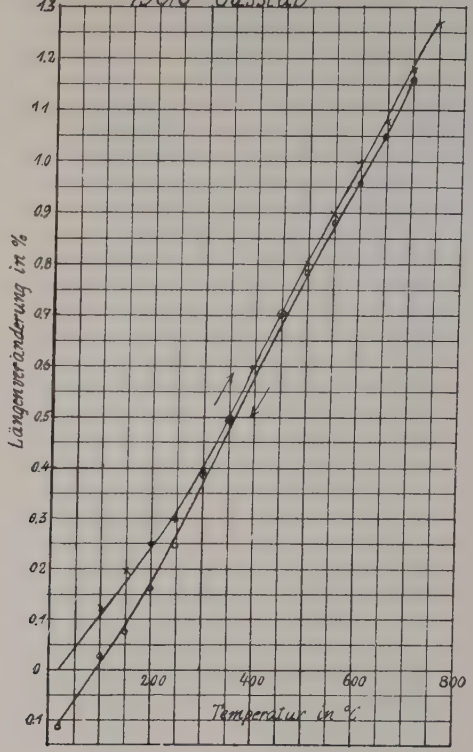
Tabelle 3.

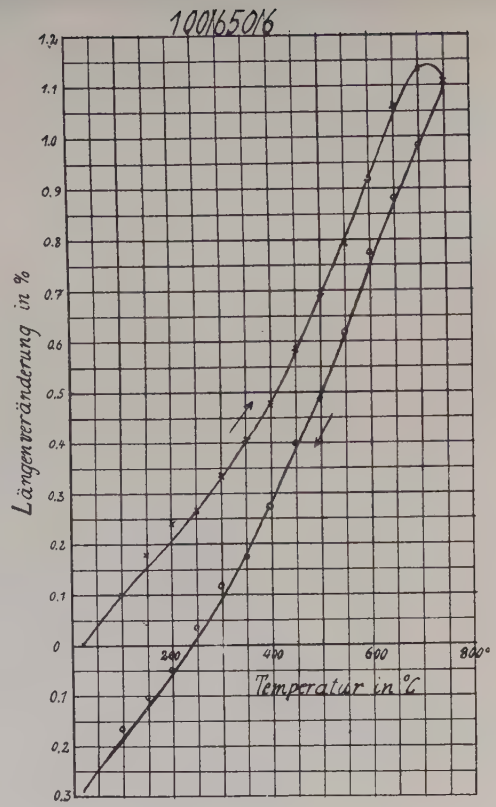
Die Expansion und Kontraktion von Gold und Goldlegierungen in Abhängigkeit vom Platininhalt.

Ablese-temp. ^{0}C.	750/6 gezogen ohne Platin		750/6 gegossen ——		50/700/6 18 kt. mit 5 % Platin		100/650/6 18 kt. mit 10 % Platin	
Schmelzintervall:	800—850		——		938—870		980—880	
	E.	A.	E.	A.	E.	A.	E.	A.
20	0,000	-0,166	0,000	-0,119	0,000	-0,399	0,000	-0,290
50	—	—	—	—	—	—	—	—
100	0,119	-0,035	0,019	0,028	0,123	-0,290	0,114	-0,166
150	0,199	0,042	0,197	0,071	0,192	-0,233	0,178	-0,104
200	0,249	0,095	0,247	0,161	0,238	-0,161	0,238	-0,052
250	0,304	0,192	0,297	0,249	0,290	-0,076	0,261	0,035
300	0,416	0,337	0,392	0,392	0,357	0,042	0,333	0,119
350	0,476	0,340	0,499	0,499	0,423	0,161	0,404	0,178
400	0,557	0,335	0,604	0,595	0,518	0,304	0,471	0,273
450	0,637	0,618	0,704	0,702	0,614	0,416	0,583	0,399
500	0,733	0,714	0,802	0,785	0,714	0,528	0,690	0,487
550	0,833	0,809	0,899	0,885	0,804	0,637	0,790	0,618
600	0,914	0,904	0,999	0,959	0,856	0,718	0,916	0,773
650	0,994	0,994	1,078	1,051	0,892	0,821	1,059	0,880
700	1,099	1,099	1,182	1,166	0,928		1,130	0,987
750	1,190		1,270				1,106	

E. = Erhitzung. A. = Abkühlung.


7.50/6
Längenveränderung in %
Temperatur in °C
200
400
600
800


7.50/6 Gusstab
Längenveränderung in %
Temperatur in °C
200
400
600
800


100/650/6
Längenveränderung in %
Temperatur in °C
200
400
600
800°

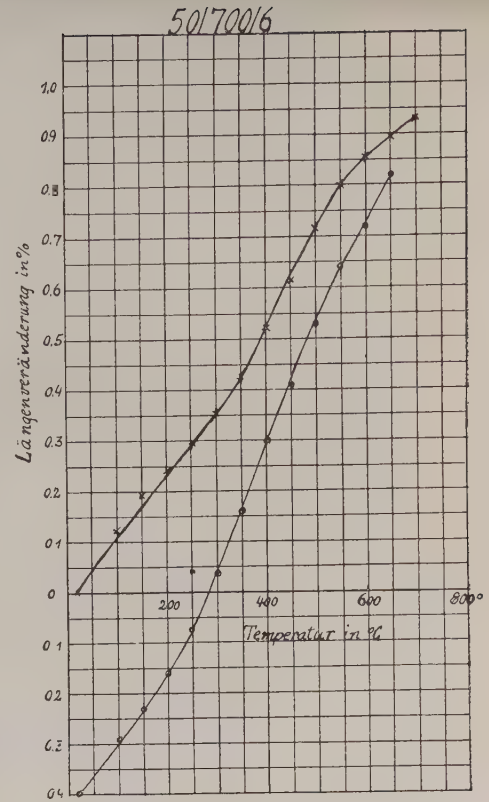

50/700/6
Längenveränderung in %
Temperatur in °C
200
400
600
800°

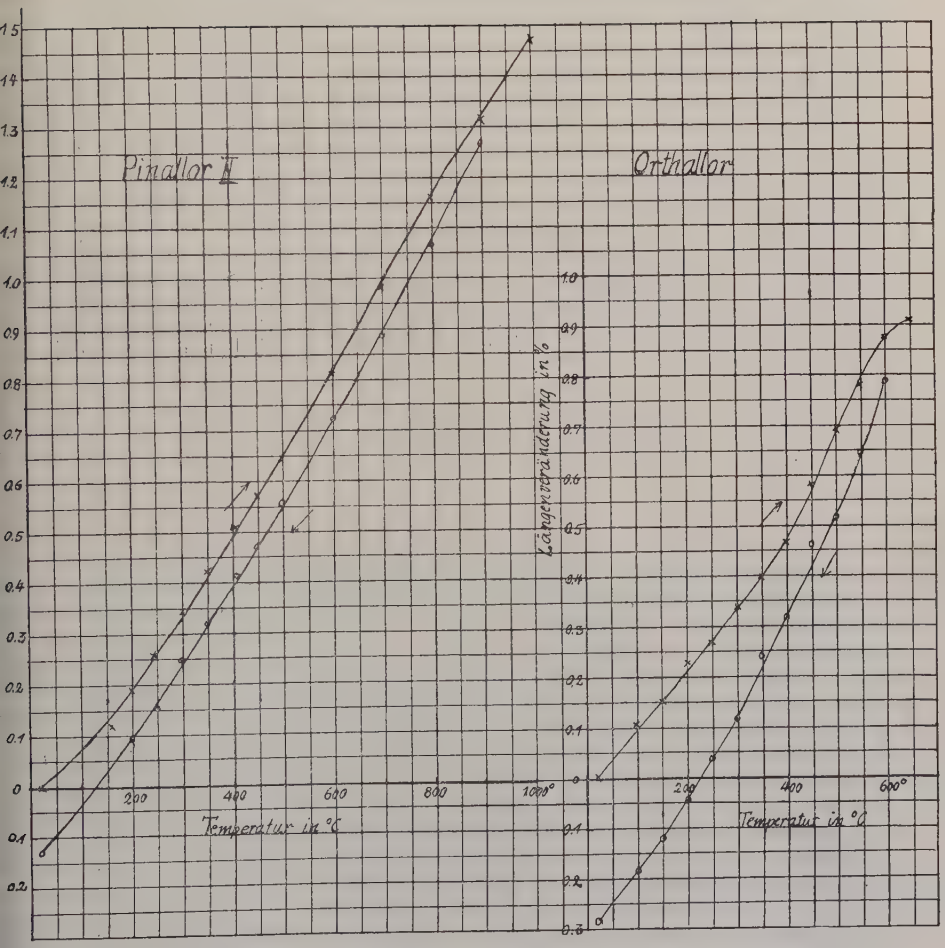
Tabelle 4.

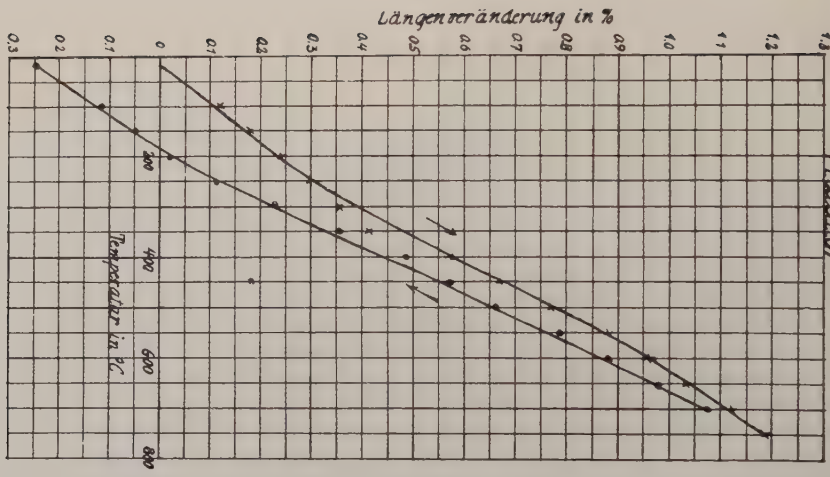
Die Expansion und Kontraktion verschiedener Legierungen.

Längenausdehnung in Prozent.

Ablesetemp. in °C.	Pinallor II		Orthallor		Plattalor		Palliag B.	
Schmelzintervall:	1163—1040		980—900		915—860		1110—1030	
	E.	A.	E.	A.	E.	A.	E.	L.
20	0,000	-0,130	0,000	-0,285	0,000	-0,238	0,000	0,166
50	—	—	—	—	—	—	—	—
100	—	—	0,109	-0,180	0,114	-0,114	0,119	0,285
150 (160°)	0,119	—	0,154	-0,107	0,178	-0,049	0,190	0,333
200	0,190	0,095	0,228	-0,042	0,238	0,028	0,261	0,423
250 (245°)	0,261	0,154	0,273	0,042	0,295	0,114	0,380	0,490
300	0,345	0,249	0,237	0,119	0,357	0,228	0,433	0,571
350	0,423	0,321	0,398	0,204	0,416	0,357	0,542	0,654
400 (410°)	0,511	0,416	0,468	0,321	0,578	0,487	0,661	0,737
450	0,671	0,476	0,583	0,466	0,671	0,575	0,749	0,833
500	0,642	0,559	0,693	0,518	0,771	0,611	0,842	0,928
550	—	—	0,780	0,647	0,885	0,789	0,956	1,018
600	0,821	0,725	0,878	0,790	0,966	0,880	1,063	1,118
650	—	—	0,911		1,032	0,980	1,182	1,232
700	0,987	0,899			1,123	1,078	1,309	1,328
750	—	—			1,190		1,418	1,428
800	1,166	1,071					1,570	1,547
850	—	—					1,689	1,666
900	1,320	1,273					1,792	1,765
950	—	—					1,861	
1000	1,475							

E. = Erhitzung. A. = Abkühlung.


Pinallor II
Orthallor
Längenänderung in %
Temperatur in °C
Temperatur in °C


Platallor
Längenveränderung in %
Temperatur in °C

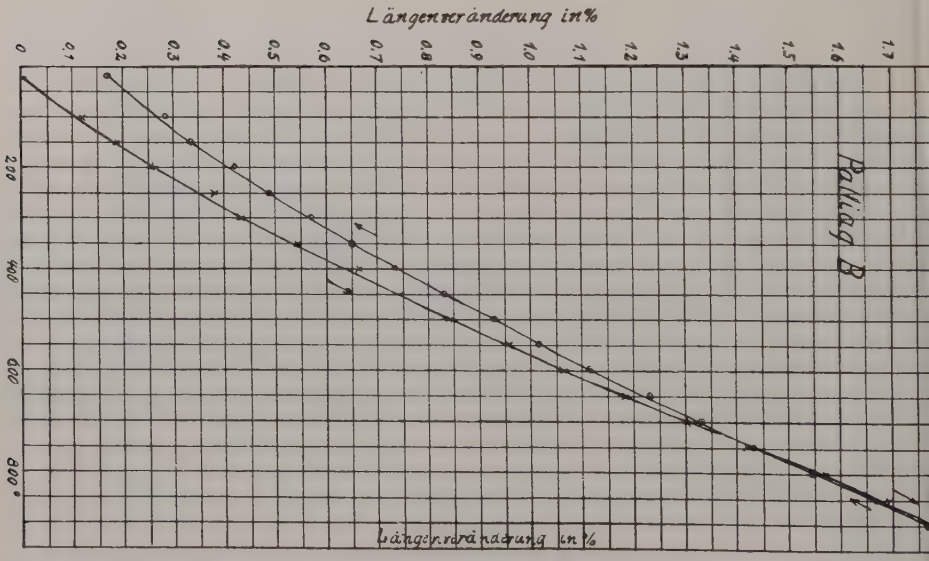

Palliag B
Längenveränderung in %
Temperatur in °C

Tabelle 5.

Die Expansion von Gold und Goldlegierungen.

Längenausdehnung in % bei 560° C. beim Erhitzen.

Materialien	Längenausdehnung bis 550° C. unkorrigiert	Wahre Ausdehnung *)	Ausdehnungskoeffizient 10° bei 20-550° C. unkorrigiert	Wahrer Ausdehnungskoeffizient *)	Schmelzintervall ° C.	Gesamtkontraktion zwischen 20° und Solidus, extrapol. unkorrigiert	Wahre Gesamtkontraktion
Feingold gezogen	0,756	0,788	14,3	14,8	1063	1,73	1,78
Feingold gegossen	0,785	0,817	14,8	15,3	1063	1,73	1,78
833/6 gezogen	0,790	0,822	14,9	15,4	975—920	1,56	1,61
833/6 gegossen	0,820	0,852	15,5	16,0	975—920	1,53	1,58
750/6 gezogen	0,820	0,852	15,5	16,0	880—850	1,41	1,46
750/6 gegossen	0,899	0,931	17,0	17,5	880—850	1,45	1,50
917/3	0,739	0,771	13,9	14,4	1025—985	1,58	1,63
917/1	0,756	0,788	14,3	14,8	977—940	1,48	1,53
833/8	0,804	0,836	15,1	15,6	1042—1025	1,76	1,81
833/4	0,790	0,822	14,9	15,4	930—890	1,45	1,50
50/700/6	0,731	0,763	15,1	15,6	938—870	1,55	1,60
100/650/6	0,773	0,805	14,9	15,4	980—880	1,71	1.76
Pinallor II	0,885	0,917	13,8	14,3	1163—1040	1,68	1,73
Orthallor	0,956	0,988	14,6	15,1	980—900	1,57	1,62
Plattalor	—	—	16,7	17,2	915—860	1,65	1,70
Palliag B	—	—	18,0	18,5	1110—1030	2,12	2,17
Silber	—	—	19,0	19,5	961	1,90 **)	—
Kupfer	—	—	—	—	1083	1,95	—

*) Durch Addition der Quarzglasausdehnung (Sonder und Hidnert) nach Thilenius bei 550° C. = 0,032 % − . 10^6 für 20—550° C. = 0,5. Korrektur für Solidustemperatur 0,05 %.

**) Spanner.

Auswertung der Versuchsergebnisse.

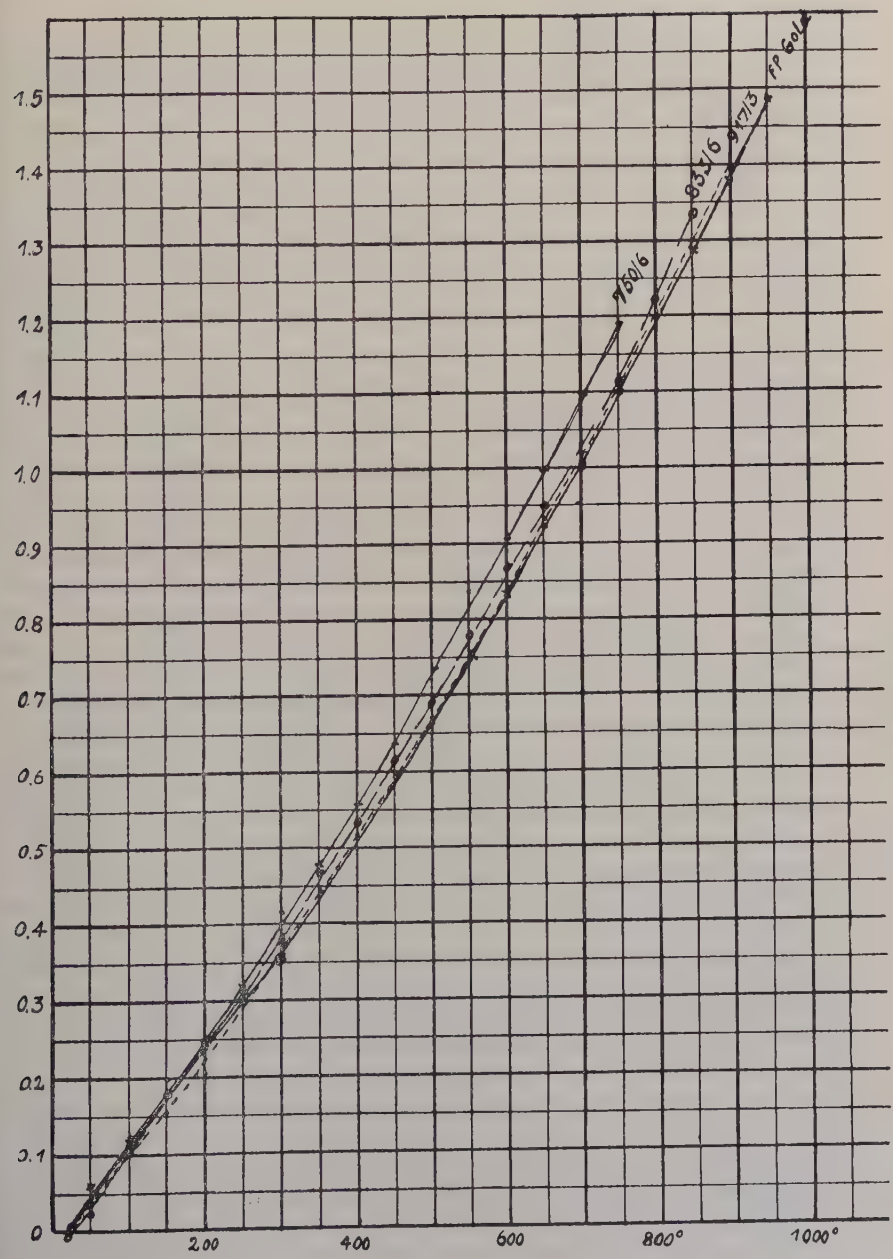
Die Werte für die Probestäbe in gezogenem Zustand zeigen den Einfluß einer vorausgegangenen Kaltbearbeitung. Gewalztes und gezogenes Material hat eine etwas geringere Dichte als ausgeglühtes Material. Bei unseren Versuchen ist bei den gezogenen Stäben das Ausglühen während der Messung eingetreten. Da durch das Ausglühen eine Dichtevergrößerung, also Kontraktion eintritt, die sich der gemessenen Expansion überlagert, sind die Ausdehnungswerte für gezogene Stäbe etwas zu niedrig gemessen worden. Um welchen Betrag sich die Werte unterscheiden, geht aus einem Vergleich der Messungen für gezogenes und gegossenes Material, bei Feingold, 833/6 und 750/6, hervor.

Eine weitere Unregelmäßigkeit bei den vergütbaren Legierungen 750/6, 50/700/6, 100/650/6, Orthallor und Plattalor wurde vernachläßigt. Es handelt sich um die geringen Längenänderungen, die durch die Vergütung bei 250-400° C eintreten. Wie Schäffner festgestellt hat, handelt es sich um eine Kontraktion von 0,05-0,1 % je nach der Legierung. In den Kurven macht sich diese geringe zusätzliche Kontraktion durch eine kleine Abweichung vom normalen Kurvenverlauf bemerkbar.

Zu Tab. 1. Vergleicht man zunächst die Längenveränderung der einzelnen Materialien in gezogenem und gegossenem Zustand, so kann man feststellen, daß in bezug auf das Verhalten des Materials keine nennenswerten Unterschiede bestehen. Die ermittelten Werte für Feingold 833/6 decken sich in den beiden Zuständen fast völlig, während bei der Legierung 750/6 eine geringe Abweichung im Verhalten festzustellen ist.

Vergleicht man Feingold mit den einzelnen Legierungen in gezogenem Zustand, so kann man feststellen, daß die Ausdehnung der Legierungen bei der Erhitzung von verhältnismäßig niederen Temperaturen ab schneller verläuft. Dagegen bleibt die durch Extrapolation ermittelte Gesamtkontraktion (Tab. 5) nicht unwesentlich hinter der von Feingold zurück, was durch den niederen Schmelzpunkt der Legierungen gegenüber Feingold zu erklären ist. In der folgenden Kurve wird dieses Verhalten gezeigt. Es ist dabei zu beachten, daß mit abnehmendem Karatgehalt der Verlauf der Kurve steiler wird, d. h. der Ausdehnungskoeffizient wird durch Zulegieren von Silber und Kupfer größer, wie es wegen der stärkeren Expansion dieser Zusatzmetalle zu erwarten ist.

Während die Erhitzungs- und Abkühlungskurve von Feingold, 22 kt. und 20 kt. nahezu zusammenfallen, besteht bei der



1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
200
400
600
800°
1000°
750/6
833/6
917/3
FP Gold

18 kt. Legierung 750/6 in beiden Zuständen eine ziemlich starke Abweichung der Kurven voneinander. Die Stäbe weisen außerdem nach der Messung eine nicht unwesentliche Verkürzung auf. Dieses Verhalten des Materials wird später noch erwähnt werden.

Zu Tab. 2. Vergleicht man zunächst die 22 kt. Legierung 917/3 mit hohem Silbergehalt und 917/1 mit niederem Silbergehalt, so kann man feststellen, daß die Expansionswerte der beiden Materialien bis zu einer gewissen Höhe vollkommen gleich verlaufen. Die Legierung 917/3 zeigt eine etwas höhere Gesamtexpansion, wiederum bedingt durch den höheren Schmelzpunkt. Auch bei den 22 kt. Legierungen ist ein ähnliches Verhalten festzustellen. Die Materialien 833/8, nur aus Gold und Silber bestehend, 833/6 mit hohem Silber- und mäßigem Kupfergehalt und 833/4 mit ungefähr gleichen Teilen Silber und Kupfer, weisen bis zu gewissen Temperaturen dieselben Expansionswerte auf. Lediglich die Gesamthöhe der Expansion ist durch die verschiedenen Schmelzpunkte der Materialien beeinflußt. Erhitzungs- und Abkühlungskurve dieser Materialien liegen dicht beieinander. Die Probestäbe haben während der Messungen keine nennenswerte Veränderung erfahren.

Zu Tab. 3. Vergleicht man die Expansionswerte der Legierungen aus der Tabelle 3, so geht am deutlichsten aus den Kurven hervor, daß die platinhaltigen Materialien 50/700/6 und 100/650/6 gegenüber 750/6 starke Abweichungen aufweisen. Die Erhitzungskurven sind bis zu etwa 500° C fast gleich und weichen dann stark voneinander ab. Es war bereits bei der Auswertung der Ergebnisse zu Tabelle 1 erwähnt worden, daß die Probestäbe aus der Legierung 750/6 bei der Messung Verkürzungen erfahren haben. Die platinhaltigen Materialien 50/700/6 und 100/650/6 weisen nach der Messung noch wesentlich stärkere Verkürzungen auf. Damit ist das abweichende Verhalten gegenüber dem Material 750/6 bei der Erhitzungskurve zu erklären. An sich geht der Kurvenverlauf bis 500 bis etwa 550° C normal vor sich. Bei dieser Erhitzungsstufe ist anscheinend die Eigenfestigkeit der Stäbe so klein geworden, daß der geringe Gegendruck von 50—60 gr genügt, um sie zu deformieren.

Leuser und Spanner haben durch Messungen in dem Laboratorium der Degussa, Pforzheim, das Verhalten der Goldlegierungen in der Wärme zu klären versucht. Es ergibt sich die überraschende Tatsache, daß die 18 kt. platinhaltigen Goldlegierungen, die bei Zimmertemperatur die höchsten erreichbaren Festigkeiten aufweisen, die geringste Warmfestigkeit besitzen, während die

höher karätigen Legierungen und Feingold mit geringer Festigkeit bei Zimmertemperatur eine höhere Warmfestigkeit aufweisen. Diese Tatsache ist mit der Erniedrigung der Schmelztemperatur nicht zu erklären, denn die starke Erweichung tritt bei den platinhaltigen 18 kt. Legierungen schon etwa 320—330° C unterhalb des Solidus ein, bei den übrigen Legierungen aber erst 75—100° C unter dem Erstarrungspunkt.

Durch diese Untersuchung ist auch das Verhalten der einzelnen Materialien bei den Expansionsmessungen zu erklären. So kommt es, daß die Erhitzungs- und Abkühlungskurve von beispielsweise Feingold vollkommen gleich verlaufen, während dagegen die 18 kt. Platin-Goldlegierungen durch die Stauchung Verkürzungen in der Abkühlungskurve weit von der Erhitzungskurve abweichen. Diese Messungen sind also nur bis etwa 550° C als normal anzunehmen. Die geringe Warmfestigkeit der Legierungen ist auch in anderer Hinsicht von Bedeutung. Darauf wird später noch eingegangen werden.

Zu Tab. 4. Bei dem Vergleich verschiedener gebräuchlicher Dentallegierungen zeigt sich wiederum die bereits vorher festgestellte Tatsache, daß die platinhaltigen Goldlegierungen infolge ihrer geringen Warmfestigkeit bei dem Meßvorgang Verkürzungen erfahren. Besonders auffällig ist das Verhalten der Legierung Orthallor, die 8% Platinzusatz hat. Schon bei einer Temperatur von 600° C treten bei dieser Legierung außerordentlich starke Verkürzungen auf, die bei der Legierung Plattalor mit nur 3% Platin lange nicht so stark ist. Am günstigsten verhält sich in dieser Beziehung die Legierung Pinallor II, die allerdings keine unedlen Zusätze enthält.

Von den neueren Goldersatzmaterialien wurde eine Legierung, Palliag B, mitgemessen. Es handelt sich hier um eine Legierung, die auf der Basis Silber-Palladium aufgebaut ist. Das Material zeigt ein grundsätzlich anderes Verhalten als die Goldlegierungen. Zunächst ist festzustellen, daß der Erpansionsanstieg wesentlich steiler vor sich geht, und mit einer Höhe von 1,85% alle bisher gemessenen Materialien übertrifft. Außerdem ist noch auffällig, daß die Abkühlungskurve von 700° C ab über der Erhitzungskurve verläuft. Der Stab war nach der Messung verlängert.

Zu Tab. 5. Um zu zeigen, daß die Expansion von Feingold und Goldlegierungen bis 550° C fast gleich ist, sind die einzelnen Werte zusammengefaßt. Die Expansion schwankt bei den Goldlegierungen um 0,8%, während Palliag B bei dieser Temperatur

eine Expansion von 0,95 % besitzt. Um den Vergleich mit anderen Metallen und Legierungen zu ermöglichen, wurden auch die mittleren linearen Ausdehnungskoeffizienten zwischen 20 und 550° C angegeben. Ferner enthält diese Tabelle die durch Extrapolation ermittelte theoretische Gesamtkontraktion zwischen Solidus und Zimmertemperatur. Bei den unregelmäßig verlaufenden Kurven, besonders den platinhaltigen Legierungen, ist die Extrapolation unsicher. Die angegebenen Werte gelten für völlig unbehinderte Ausdehnung und Zusammenziehung. Beim Dentalguß wird man wegen der schon erwähnten geringen Warmfestigkeit damit rechnen müssen, daß die Kontraktion in der Form erst von Temperaturen ab, die 100 bis 300° C unter dem Solidus liegen, unbehindert vor sich geht, sodaß eine praktische Gesamtkontraktion herauskommt, die um 0,2 bis 0,6 % geringer ist als die theoretische Gesamtkontraktion.

Praktische Gießversuche nach der Methode Schäffner.

Schäffner hat seinerzeit bei der Messung der Restkontraktion Einbettmassen benützt, die sehr wahrscheinlich ein Gemisch von Gips und Quarz im Verhältnis 30 : 70 darstellte. Aus den früher angegebenen Kurven geht hervor, daß ein solches Gemisch bei 500° C Vorwärmetemperatur überhaupt keine Expansion besitzt, sondern eine Schrumpfung von 0,1 % aufweist. Daraus allein ist schon zu erklären, daß Schäffner zu ziemlich hohen Restkontraktionszahlen kommt. Die Tatsache, daß er mit zunehmendem Platingehalt in der 18 kt. Legierung geringere Restkontraktion gemessen hat, findet nach den Messungen von Leuser und Spanner über die Warmfestigkeit der Goldlegierungen eine ganz andere Erklärung, als durch die Zusammensetzung, die die Ausdehnung tatsächlich, wie gezeigt wurde, nur wenig zu beeinflussen vermag.

Es ist anzunehmen, daß die in der Einbettmasse eingelagerten Meßplättchen bei der geringen Warmfestigkeit der platinhaltigen Materialien bis zu etwa 600° C dem schrumpfenden Gold nicht folgen können. Infolgedessen wurden dadurch tatsächlich geringere Restkontraktionen gemessen. Um diesen Fehler zu vermeiden, wurde auf die Anwendung der Meßplättchen verzichtet und lediglich der Contracidkörper, der eine durchschnittliche Länge von 22 cm besaß, eingebettet und die Flächen vor und nach dem Guß gemessen. Bei sorgfältiger Arbeit wurden so saubere Güße erzielt, daß in den meisten Fällen ohne Nachbearbeitung gemessen werden konnte.

Abhängigkeit der Restkontraktion von verschiedenen Einbettmassen.

Zu den Gießversuchen wurden folgende Einbettmassen benützt:

1. Duroterm der I.G. Farbenindustrie, Leverkusen,
2. Expansit der Firma L. Böhme, Hohenbocka,
3. Cristobalit der Firma Erich Wilhelm, Berlin,
4. Tanne der Firma Hinrichs, Osterode.

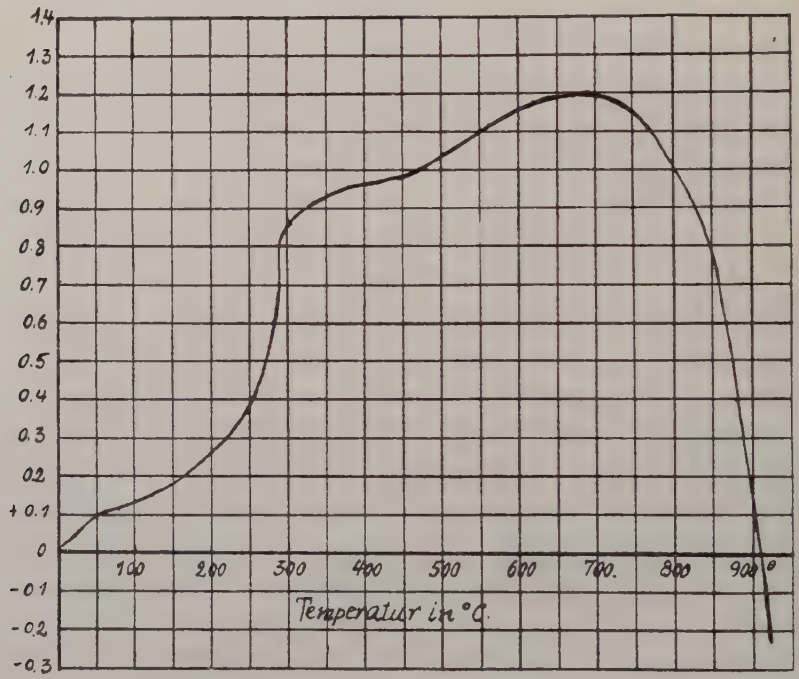
In der nachfolgenden Tabelle sind die technischen Daten für diese Massen zusammengestellt. Die Zahlenangaben, sowie die später gezeigten Kurven verdanken wir der I.G. Farbenindustrie.

Masse	Anrühr-verhältnis Wasser zu Masse	Abbinde-zeit Min.	Abbinde-expansion %	Thermische Expansion %	Gesamt-Expansion %	Brinellhärte ungebr./ gebr. kg/mm²	
Duroterm (I. G.)	1 : 2,9	18	0,9	0,7	1,6	1,1	0,5
Expansit (Böhme)	1 : 2,9	18	0,0	1,6	1,6	0,61	0,53
Deutsches Cristobalit (Wilhelm)	1 : 2,5	22	0,32	1,1	1,42	0,64	0,30
Amerik. Cristobalit (Kerr)	1 : 2,5	25	0,19	1,45	1,64	0,80	0,20
Tanne (Hinrichs)	1 : 2,2	10	0,48	0,20	0,68		

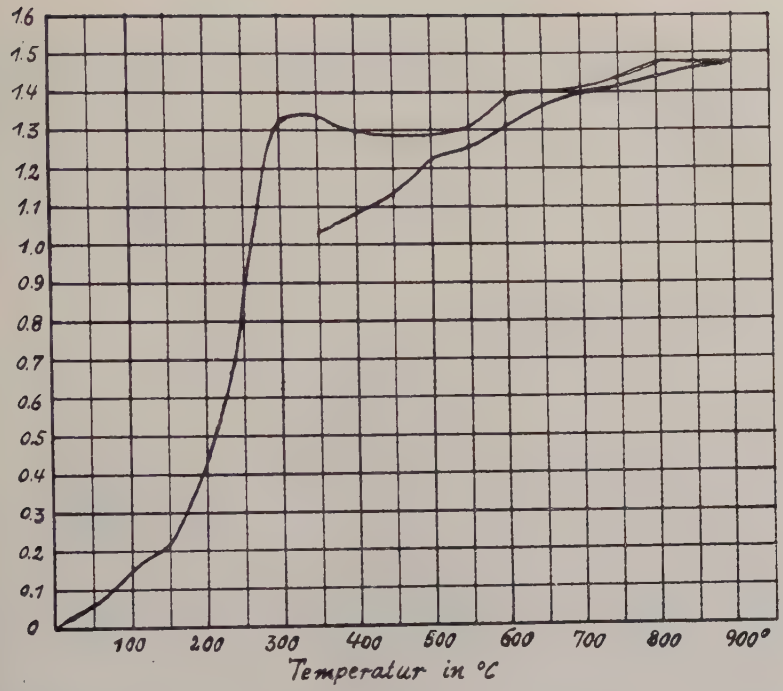
Die Durotermmasse weist eine Gesamtexpansion von 1,6 % auf, wovon 0,9 % auf die Abbinde- und nur 0,7 % auf die thermische Expansion kommen. Das bedingt die Arbeitsweise der doppelten Einbettung, damit die Abbindeexpansion auch voll ausgenützt wird. Bemerkenswert ist auch noch die verhältnismäßig hohe Brinellhärte in gebranntem und ungebranntem Zustand.

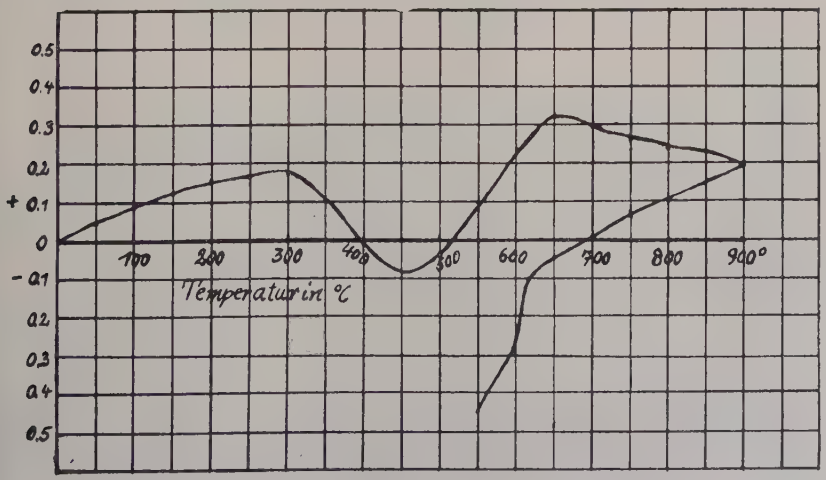
Im Gegensatz zur Durotermmasse, ist Expansit nur auf thermischer Expansion aufgebaut, Gesamtexpansion von 1,6 %. Auch hier verhältnismäßig hohe Brinnellhärte in gebranntem Zustand.

Die deutsche Cristobalitmasse von Erich Wilhelm hat 0,32 % Abbinde- und 1,1 % thermische Expansion. Est ist daher ratsam, bei dieser Masse ebenfalls doppelt einzubetten. Die zum Vergleich eingesetzte amerikanische Cristobalitmasse von Kerr hat 0,19 % Abbinde- und 1,45 % thermische Expansion. Gesamtexpansion also 1,64 %. Die Brinnellhärte beider Cristobalitmassen ist verhältnismäßig gering.



Aus den beiden Kurven geht hervor, daß im Verhalten der beiden Massen ein grundsätzlicher Unterschied besteht. Die deutsche Cristobalitmasse erreicht bei 700° C ihren höchsten Expansionswert. Bei einer Weitererhitzung sinkt die Expansion sehr stark ab. Die amerikanische Cristobalitmasse dagegen hat bereits bei 300° C eine Expansion von 1,3 %, die bis zu 900° C langsam weitersteigt. Auch beim Abkühlen bleibt die Expansion erhalten. Die Abkühlungskurve liegt bis zu 500° C dicht unter der Erhitzungskurve. Dieser Umstand ist besonders wichtig für alle die Gußverfahren, bei denen nicht unmittelbar nach dem Herausnehmen der Form aus dem Ofen gegossen werden kann.


1.6
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900°
Temperatur in °C


0.5
0.4
0.3
0.2
+ 0.1
0
- 0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
100
200
300
400
500
600
700
800
900°
Temperatur in °C

Die sehr häufig verwendete Masse von Hinrichs zeigt nach dem Kurvenbild ungefähr das Verhalten einer Mischung von Gips und Quarz im Verhältnis 30 : 70. Bemerkenswert ist hier vor allem, daß bei der Abkühlung schon nach kurzer Zeit der größte Teil der Expansion verloren geht, und daß bei 600° C Verkürzungen bis zu 0,3 % auftreten. Diese Masse wurde in die Gießversuche mit einbezogen, um die Unterschiede zwischen den neueren und älteren Massen zu demonstrieren.

Versuchsergebnisse.

Die Restkontraktion in Abhängigkeit von verschiedenen Einbettmassen.

In der nachstehenden Tabelle sind die prozentualen Verkürzungen der Gußstücke aufgeführt, die unter normalen Versuchsbedingungen erzielt werden. Die Vorwärmung der Form geschah in dem Degussa-Muffelofen, zum Guß ist die Degussa-Tiegelschleuder verwendet worden. Da die Form erst aus dem Ofen herausgenommen wird, nachdem das Gold bereits im Tiegel geschmolzen ist, ist der Guß tatsächlich auch bei der gewünschten Vorwärmetemperatur erfolgt, da der Form keine Zeit zum Abkühlen bleibt. Damit sind auch die Schwierigkeiten, die Flaumenhaft erwähnt und durch eine besondere Apparatur gelöst haben will, überwunden. Zum Guß wurde die bekannte 18 kt. Platin-Goldlegierung 50/700/6 verwendet.

Tabelle 7.

Einbettmassen	Anrührverhältnis Wasser zu Masse	Vorwärmetemperatur	Verwendete Goldlegierung	Verkürzung in %	Bemerkungen
Duroterm	10 : 28	700° C	50/700/6	0,56	o. Asbest
Expansit	10 : 29	700° C	„	0,80	2 mm „
Deutsches Cristobalit	10 : 25	600° C	„	0,23	2 mm „
Tanne	10 : 22	700° C	„	0,92	o. Asbest

Die ermittelten Werte sind Mittelwerte aus je 3 Messungen. Asbesteinlagen wurden nur bei den Massen gemacht, die nach ihrem Charakteristikum eine solche Maßnahme verlangen, oder wo es in der Vorschrift des Herstellers angegeben ist.

Die Restkontraktion in Abhängigkeit von der Vorwärmetemperatur.

Für diese Versuche wurde ausschließlich die Einbettmasse Duroterm benützt. Zum Guß wurde ebenfalls die 18 kt. Platin-Goldlegierung 50/700/6 verwendet.

Tabelle 8.

Einbettmasse	Anrührverhältnis Wasser zu Masse	Vorwärmetemperatur	Verwendete Goldlegierung	Verkürzung in %	Bemerkungen
Duroterm	10 : 28	600° C	50/700/6	0,57	ohne Asbesteinlage
„	„	700° C	„	0,56	
„	„	800° C	„	0,58	
„	„	900° C	„	0,81	

Mittelwerte aus je 3 Messungen.

Die Restkontraktion in Abhängigkeit von der Expansionsmöglichkeit.

In der nachfolgenden Tabelle sind jeweils die Werte gegenübergestellt, die bei den einzelnen Massen mit oder ohne Asbesteinlage erzielt worden sind.

Tabelle 9.

Einbettmasse	Anrührverhältnis Wasser zu Masse	Vorwärmetemperatur	Verwendete Goldlegierung	Verkürzung in %	Bemerkungen
Duroterm	10 : 28	700° C	50/700/6	0,56	o. Asbest
				0,00	2 mm „
Expansit	10 : 29	700° C	„	0,80	2 mm „
				0,59	5 mm „
Deutsches Cristobalit	10 : 25	600° C	„	1,08	ohne „
				0,23	2 mm „

Mittelwert aus je 3 Messungen.

Die Restkontraktion in Abhängigkeit von der verwendeten Legierung.

Zu diesen Versuchen wurde wiederum nur die Einbettmasse Duroterm verwendet. Als Gußmaterial wurde die 18 kt. Legierung ohne und mit 5 % und 10 % Platinzusatz gebraucht.

Tabelle 10.

Einbettmasse	Anrührverhältnis Wasser zu Masse	Vorwärmetemperatur	Verwendete Goldlegierung	Verkürzung in %	Bemerkungen
Duroterm	10 : 28	700° C	750/6	0,73	ohne
„	„	„	50/700/6	0,56	Asbest-
„	„	„	100/650/6	0,68	einlage

Mittelwerte aus je 3 Messungen.

Die Restkontraktion in Abhängigkeit von der Kristallwasserregulierung.

Um auch den von Scheu festgestellten Einfluß der Kristallwasserregulierung bei deutschen Massen zu erproben, wurden Versuche nach den Vorschriften von Scheu mit den Einbettmassen Duroterm und Tanne angestellt. Die ermittelten Werte sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefaßt. Vorwärmetemperatur 700° C.

Tabelle 11.

Einbettmasse	Anrührverhältnis Wasser zu Masse	Verwendete Goldlegierung	Verkürzung in %	Bemerkungen
Duroterm	10 : 28	50/700/6	0,40	ohne Asbest
Abbindung: 25 Min. trocken u. 20 Min. in 30° C warmem Wasser				
Tanne	10 : 22	50/700/6	0,75	ohne Asbest
Abbindung: 15 Min. trocken u. 20 Min. in 30° C warmem Wasser				

Auswertung der Versuchsergebnisse.

Zu Tab. 7. Am günstigsten sind in dieser Tabelle die Werte mit einer Restkontraktion von 0,23 %, die mit der deutschen Cristobalitmasse erzielt worden sind. Die Vorschrift für diese Masse verlangt bereits eine Asbesteinlage von 2 mm Dicke. Es folgen dann die Massen Duroterm mit 0,56 %, Expansit mit 0,80 % und Tanne mit 0,92 % Längenverkürzung. Bei der Durotermmasse ist die Restkontraktion verhältnismäßig hoch, obwohl der größte Teil der Gesamtexpansion Abbindeexpansion ist, die auch vollkommen ausgenützt wurde. Daraus ergibt sich die Forderung, daß ebenfalls mit Asbesteinlage gearbeitet werden muß, wie auch später gezeigt wird.

Allem Anschein nach genügt auch bei der Einbettmasse Expansit eine Einlage von 2 mm nicht, da eine Restkontraktion von 0,8 % bleibt.

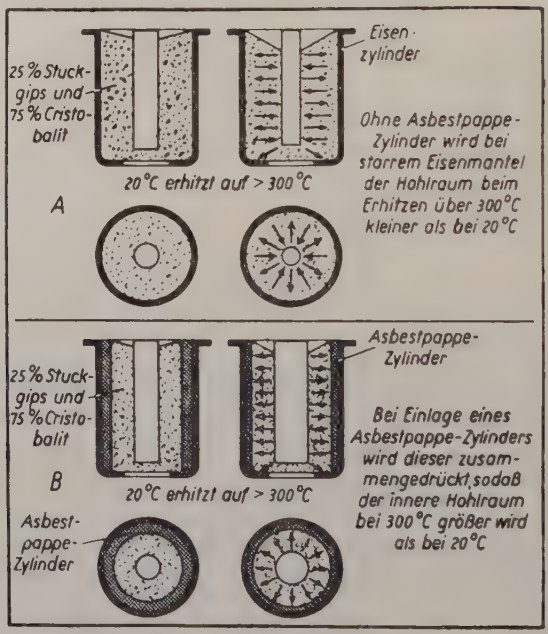
Zu Tab. 8. Vergleicht man die Einzelverkürzungen der Gußstücke, die in der Durotermmasse hergestellt worden sind, so ergibt sich, daß bei 600° C, 700° C und 800° C eine völlig gleichgroße Verkürzung vorhanden ist. Dagegen zeigt der Guß bei 900° C einen Wert von 0,81 %. Daraus kann man ersehen, daß zwischen 600 und 800° C eine gleichgroße Expansion erzielt ist. Wird dagegen die Temperatur von 800° C überschritten, so setzt anscheinend schon wieder eine Kontraktion in der Masse ein, sodaß bei der Gußtemperatur von 900° C eine größere Verkürzung des Stückes auftritt.

Zu Tab. 9. Vergleicht man zunächst die Güsse, die in der Durotermmasse, mit und ohne Asbest, gemacht worden sind, so sieht man, daß schon bei einer Einlage von 2 mm Asbest keine Verkürzung des Stückes mehr vorhanden ist. Der Guß war genau so lang wie der Probekörper. Auch bei der Expansiteinbettmasse kommen mit einer dickeren Asbesteinlage die Güsse mit einer geringeren Verkürzung heraus. Bei 2 mm Dicke (Asbest) betrug die Verkürzung 0,8 %, bei 5 mm 0,59 %. Warum nun selbst bei dieser dicken Einlage eine so große Restkontraktion vorhanden ist, kann nicht ohne weiteres erklärt werden. Vielleicht ist eine zu geringe Gesamtexpansion daran schuld. Die I. G. Farbenindustrie hat ziemlich starke Unterschiede in dieser Beziehung zwischen den einzelnen Lieferungen festgestellt.

Ganz auffällig sind die Unterschiede, die mit der deutschen Cristobalitmasse mit und ohne Asbesteinlage erzielt werden.

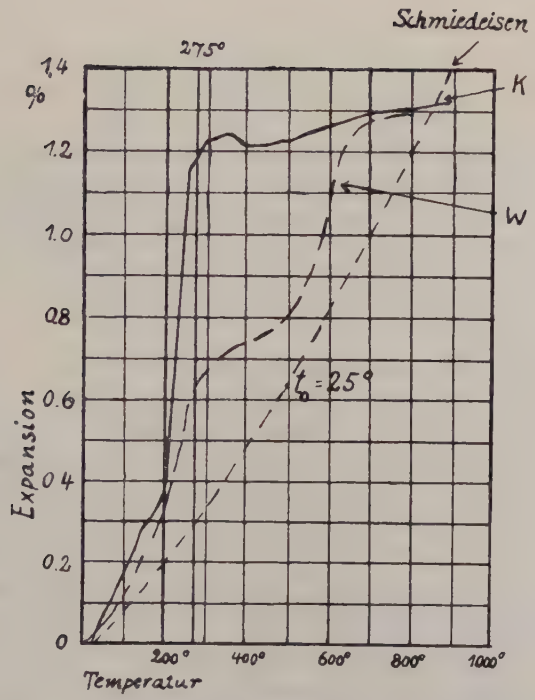
Ohne Asbesteinlage bleibt eine Restkontraktion von über 1 %, mit 2 mm Asbesteinlage dagegen nur 0,23 % Restkontraktion.

Auf die Behinderung der Expansion durch den starren Eisenzylinder ist schon von verschiedener Seite aufmerksam gemacht worden (Han, Fabian). Die Wirkung der Asbesteinlage wird aus der nachstehend wiedergegebenen Abbildung, die von Endell stammt, gezeigt (Dentistische Reform S. 96).



Schematische Darstellung der Erweiterung der Hohlform beim Erhitzen von Cristobalit-Einbettung mit und ohne Verwendung einer Asbesteinlage.

Auch Cosmann zeigt durch die nachfolgende Kurve, wie die Ausdehnung von Schmiedeeisen hinter der Expansion einer cristobalithaltigen Masse zurückbleibt. Ebenso erkärt es sich wohl, daß die Durotermmasse der I. G. Farbenindustrie ohne Asbesteinlage ungenügendere Werte ergibt, da anscheinend die Thermische Expansion von 0,7 % schon bei tieferer Temperatur erreicht wurde, wobei aber die schmiedeeiserne Muffel noch nicht genügend ausgedehnt ist.



Übrigens ist die günstige Wirkung der Asbesteinlage teilweise wohl auch dadurch zu erklären, daß sie einen Teil des Anrührwassers aufsaugt. Je weniger Wasser die Mischung enthält, um so größer ist ihre thermische Ausdehnung.

Zu Tab. 10. Vergleicht man die Verkürzung der Gußstücke aus der 18 kt. Legierung 750/6 ohne Platin mit den beiden Legierungen 50/700/6 und 100/650/6 (18 kt. mit 5 und 10 % Platin), so zeigen sich keine besonders großen Unterschiede. Am kleinsten ist die gemessene Verkürzung bei der Legierung 50/700/6; auch bei den früher aufgeführten Messungen der Expansion der Goldlegierung zeigt dieses Material ein ähnliches Verhalten.

Zu Tab. 11. Die Behandlung nach Scheu bewirkt bei den beiden Einbettmassen Duroterm und Tanne eine Verminderung der Verkürzung, und zwar um jeweils etwa 0,20 %.

Zusammenfassung.

1. Die Messung der Expansion und Kontraktion von Gold und Goldlegierungen in Abhängigkeit vom Goldgehalt, von den Kupfer-, Silber- und Platinzusätzen, zeigt, daß der Ausdehnungskoeffizient verschiedener Goldlegierungen von der Zusammensetzung nur wenig abhängig ist. Die Hauptzusätze Silber und Kupfer bewirken wegen ihrer stärkeren Ausdehnung eine geringe Zunahme.

2. Die theoretische Gesamtkontraktion der verschiedenen Legierungen hängt hauptsächlich von der Höhe des Schmelzpunktes ab. Sie beträgt etwa 1,5 bis 1,8 %, bei Palliag 2,2 %, und kann nur bei völlig unbehinderter Längenveränderung eintreten. Bei gewissen Legierungen mit geringer Warmfestigkeit muß sich die teilweise Behinderung der Kontraktion durch die Form als Verringerung der Gesamtkontraktion geltend machen.

3. Besonders auffällig ist die geringe Warmfestigkeit bei 18 kt. Legierungen mit Platin, die bei Zimmertemperatur sehr hohe Festigkeit besitzen.

4. Der Ausgleich der Kontraktion ist durch die Verwendung von Einbettmassen mit hoher Ausdehnung beim Abbinden und bei der Erhitzung möglich. Die Behandlung der Einbettmassen in warmem Wasser, nach Scheu, trägt ebenfalls zur Vergrößerung der Form und damit zum Ausgleich der Goldkontraktion bei. Es konnte bestätigt werden, daß die Verwendung von Asbesteinlagen sehr günstig ist, damit nicht die hohe thermische Expansion moderner Einbettmassen durch den starren Eisenzylinder beeinträchtigt wird.

5. Zwischen den Ausdehnungswerten der Einbettmassen, derjenigen der Gußlegierungen und den bei Gußversuchen gemessenen Verkürzungen, besteht, abgesehen von der Masse Expansit, Übereinstimmung, wenn dafür gesorgt wird, daß sowohl die thermische Ausdehnung der Einbettmasse als auch die Kontraktion der Gußlegierung unbehindert erfolgt. Das Letztere ist aber bei den in der Praxis vorkommenden Güssen selten zu verwirklichen.

Literaturverzeichnis.

H. P. Gerlach: Beiträge zur Materialienkunde I.
Studie über feuerfeste Einbettungsmassen. D. Z. W. 1932 Nr. 21.
Beiträge zur Materialienkunde II.
Die Beeinflussung des thermischen Volumenverhaltens von Gips-Quarzgemischen im zahnärztlichen Gußverfahren. D. Z. W. 1933 Nr. 20.
Beiträge zur Materialienkunde III.
Wie weit können die Kaltexpansion der Einbettungsmassen und die Wachsexpansion das Gußresultat beeinflußen? D. Z. W. 1933 Nr. 31.

G Pfarr: Fragen zum Gußverfahren. Dent. Ref. 1933 Nr. 52.

R. Oetinger: Beitrag znr Metalltechnik.
Das Gießen mit dem verlorenen Kopf. Zahnärztl. Rdsch. 30/6.

Djie Siong Han: Experimentelle Untersuchungen zur weiteren Klärung des Gußproblems D. M. f. Z. 1930 Nr. 6.

A. Ochrlein: Leitfaden der zahnärztlichen Gußtechnik 1928.

D. H. Scheu: Precision Casting Technic.
The Journal of the American Dental Assoccation. April 1932.

J. Wachuda: Gußverfahren-Einbettungstechnik Dent. Ref. 1934 Nr. 14.

K. Endell: Zur Entwicklung der Einbettmassen. Dent. Ref. 1934 Nr. 6.

M. Cosmann: Ergänzungen zur Aufzeichnung der thermischen Expansion von Gußeinbettungsmassen aus Kieselerden und Gips. D. Z. W. 1934 Nr. 12.

E. Flaumenhaft: Arbeitsmethoden zur möglichst genauen Ausnutzung der Expansion der Einbettungsmassen beim Gießen der Füllungen D. Z. W. 1934 Nr. 13.

L. Schubert: Expansionsgußverfahren und Untersuchungen über ihren praktischen Wert. D. Z. W. 1932 Nr. 2.

Sandor von Ledniczert: Die Gummiküvettenmethode.
Beitrag zum Expansionsgußproblem. Z. f. Stomat. 1932 Nr. 23.

Th. Besier: Über Formveränderungen des Modellwachses in Abhängigkeit von der Temperatur.

H. Trurnit: Über die Kontraktion des Goldes beim Gießen von Füllungen und Brücken.

V. Elander: Das Gießen von Goldeinlagen.

H. Schäffner: Formveränderungen von Goldgüssen für die Zahnheilkunde in Abhängigkeit ihrer Zusammensetzung mit besonderer Berücksichtigung der Vergütung. D. Z. W. 1931 Nr. 21.

K. Scheffler: Der Einfluß verschiedener Gußmethoden auf die Beschaffenheit der Gußstücke in der zahnärztlichen Praxis.

Degussa: Das Gießen mit der Degussa-Tiegelschleuder.

M. Cosmann: Zum Verständnis der thermischen Expansion von Guß-Einbettungsmassen. Vierteljahrschrift f. Zahnheilkunde 1934 Nr. 1.

Schubert und Klode: Die Auswirkung der Volumenänderungen einiger Einbettmassen auf die Gußkontraktion des Goldes auf Grund volummetrischer Messungen. D. Z. W. 1933 Nr. 31.

H. Fabian: Metall- oder Papierzyliuder? Zahnärztl. Rdsch. 31.

Sweenev: Cristobalite.
The Journal of the American Dental Ass. Jan. 33.

Paffenbarger and Sweeney: Dental casting technic.
Journal of Dental Research 1931.

R. Jeanneret: Aus Theorie und Praxis der Gußfüllung.
Schweiz. Monatsschrift für Z. 1933.

J. Leuser: Kritisches über Gußapparate.
Die Zahnprothese 1932 Nr. 9.

J. Spanner: Grundlagen der Gußtechnik.

Ich erlaube mir am Schluß meiner Arbeit Herrn Professor Dr. Falck in München für die Übernahme des Referates, sowie den Herren Dr. Spanner und Leuser (Degussa-Pforzheim) meinen Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Am 1. März 1909 wurde ich als Sohn des Valentin Appel zu Pforzheim geboren. Daselbst besuchte ich die Volks- und Oberrealschule, wo ich im März 1930 die Reifeprüfung ablegte.

In Freiburg i. Br. begann ich im Sommersemester 1930 das zahnmedizinische Studium. Nachdem ich dort im Wintersemester 1933—34 mein Physikum bestanden habe, immatrikulierte ich mich im Sommersemester 1936 in München, wo ich im Frühjahr 1938 das zahnärztliche Staatsexamen bestand.

Erwin Appel.